

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

#### Diversité et dynamique des caldocères benthiques en Meuse

Capieaux, Delphine

*Award date:*  
2004

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX  
NAMUR**

**Faculté des Sciences**

**DIVERSITE ET DYNAMIQUE DES CLADOCERES BENTHIQUES EN MEUSE**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de  
licencié en Sciences biologiques**

Delphine CAPIEAUX  
Août 2004

## **Diversité et dynamique des Cladocères benthiques en Meuse**

CAPIEAUX Delphine

### Résumé

Les Cladocères ont jusqu'à présent suscité peu d'intérêt dans la Meuse. Depuis 1997, des données plus précises sont disponibles sur les différentes familles de Cladocères présentes. Ce mémoire a permis de mener une première étude des peuplements de Cladocères benthiques dans la Haute Meuse belge (secteur entre la frontière française et la confluence avec la Sambre à Namur).

Différentes études sur le terrain et en laboratoire ont été réalisées. Elles avaient pour but d'obtenir une information sur la diversité et la dynamique des Cladocères benthiques en Meuse à partir d'organismes prélevés au cours d'un cycle annuel dans le plancton, et au printemps en un site en amont de Namur. Dix taxa ont été recensés. La présence d'individus ovigères dans les sédiments de la Meuse, suggère que certaines espèces possèdent des populations stables résidentes dans les sédiments du fleuve. Par ailleurs, une corrélation entre les prélèvements dans le plancton et dans les sédiments a pu être mise en évidence.

A partir des prélèvements dans la Meuse nous avons isolé deux espèces, le Macrothricidé *Macrothrix hirsuticornis* NORMAN & BRADY, 1967 et le Chydoridé *Chydorus sphaericus* O. F. MÜLLER, 1785 à partir desquels des expériences ont été réalisées. Nous avons testé l'effet de la température (15°C et 20°C) et de la quantité de nourriture, constituée de sédiments de Meuse filtrés et desséchés, sur des individus isolés et sur des petites populations. Les populations ont pu croître et se reproduire à un taux de 0,08 et 0,15 j<sup>-1</sup> respectivement pour *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus*. Les résultats obtenus sont proches de ceux obtenus pour des espèces congénériques en condition de laboratoire.

Je commencerai tout d'abord par remercier le Professeur J.-P. Descy pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire de l'URBO, m'avoir permis de jouer pendant plusieurs mois dans la boue et avoir fait tant d'envieux le jeudi matin... Merci aussi d'avoir pris le temps de superviser mon travail.

Je remercie également Laurent qui m'a fait découvrir le monde fabuleux des microinvertébrés vivants ou formolés, qui m'a guidée lors de nos petites escapades le long de la Meuse toujours sous le soleil qui nous ont permis de conclure qu'il ne drache jamais le mercredi matin en amont de Namur...

Merci à Hugo, Bruno, François, Samuel pour les nombreux conseils et aides lors de certaines manips. Ainsi qu'à Gisèle pour nous avoir permis de trouver un site qui héberge ces braves bestioles. Sans oublier Yves qui m'a fait confiance pour le trousseau de clés.

Merci à toutes les personnes du laboratoire qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Merci pour vos précieux conseils.

Je tiens également à remercier Gene pour ces six mois passés au 208, pour toutes nos conversations, rigolades, photos... Benji pour m'avoir aidée à prendre quelques photos de mes bestioles pas toujours dociles ... Tous les volontaires qui sont venus m'aider à soulever plus de 6000 litres d'eau de Meuse... Et puis, tous les mémor(is)ants de l'URBO (Gene, Hélène, Benji, Jérôme, Sylvain, Emilie, Dimitri, John, Sébastien et Douglas) pour les pauses, les soirées, leurs photos d'Afrique ou d'Asie... et tous les autres dispersés dans les différents départements. Merci également à l'équipe bactérie de l'URBM.

Je ne pourrais omettre de remercier celles qui m'ont occupées durant ces six mois, mes amies les Cladocères, avec qui les parties de cache-cache étaient nombreuses. De même que tous leurs compagnons présents dans la boue qui m'ont fait quelques fois sursauter...

Merci d'avance à vous, membres du jury, pour avoir accepté de lire mon mémoire.

Je remercierai également Anne-Cé et Cindy. Pour leur amitié qui dure depuis 4 ans et qui j'espère ne s'arrêtera pas là. Je vous souhaite bonne chance pour l'année prochaine.

Je remercierai également Michel et Max pour avoir pris le temps de lire mon mémoire et de m'avoir donné quelques petits conseils.

Je ne pourrais terminer sans remercier mes parents pour m'avoir toujours laissée croire en mes rêves, de m'avoir guidée durant toutes ces années. Ma sœur pour me ramener les pieds sur terre. Les amis et la famille toujours présents quand il le faut.

Pour terminer, je remercierai du fond du cœur Julien, mes deux-tiers, pour ces deux merveilleuses années passées ensemble et les 175 ans futurs. Pour tes bons conseils de licencié fraîchement diplômé ;-) et nos week-ends dans la chambre de culture à nourrir ces petites bêtes.



# Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>3</b>
1 <i>Les Cladocères : généralités.....</i>	3
1.1 Position systématique et diversification.....	3
1.2 Les caractéristiques générales et morphologiques.....	4
1.3 Le cycle de vie des Cladocères.....	5
1.4 Biologie et écologie.....	6
1.4.1 Habitats.....	6
1.4.2 Mode d'alimentation et régime alimentaire.....	7
1.4.3 Relation avec l'environnement abiotique et biotique.....	7
2 <i>Particularités de la biologie des Cladocères benthiques.....</i>	8
2.1 Diversité et zoogéographie.....	8
2.2 Données expérimentales sur leur dynamique.....	11
2.2.1 Etudes <i>in situ</i> .....	11
2.2.2 Expériences <i>in vitro</i> .....	12
3 <i>Le rôle des Cladocères dans la chaîne trophique.....</i>	14
4 <i>Le zooplancton crustacé dans les milieux lotiques.....</i>	15
4.1 Contraintes à la survie des Cladocères en eaux courantes.....	15
4.2 Données disponibles sur les Cladocères habitant les grandes rivières.....	17
4.3 Les Cladocères dans la Meuse.....	18
<b>OBLECTIFS DU MEMOIRE.....</b>	<b>20</b>
<b>MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>22</b>
1 <i>Etude des Cladocères présents dans la dérive.....</i>	22
1.1 Choix du site.....	22
1.2 Techniques de terrain.....	22
1.3 Conditionnement des échantillons.....	23
1.4 Examens microscopiques.....	24
2 <i>Les prélèvements dans les sédiments.....</i>	24
2.1 Choix du site.....	24
2.2 Techniques de terrain.....	24

2.3	Conditionnement des échantillons.....	25
2.4	Examen des populations.....	25
3	<i>Etude in vitro de la dynamique de population chez plusieurs espèces.....</i>	25
3.1	Origine des différentes communautés.....	25
3.2	Présentation des espèces.....	26
3.2.1	Les espèces principales.....	26
3.2.2	Les espèces secondaires.....	27
3.3	Tests préliminaires aux expériences.....	27
3.3.1	Comparaison détritiques stériles et non-stériles.....	27
3.3.2	Confection des détritiques desséchés.....	29
3.4	Expériences proprement dites.....	29
3.4.1	Expérience 1 : effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la reproduction chez <i>Macrothrix hirsuticornis</i> .....	29
3.4.2	Expérience 2 : effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez <i>Macrothrix hirsuticornis</i> , <i>Alona quadrangularis</i> et <i>Chydorus sphaericus</i> élevés en groupe.....	30

## RÉSULTATS ET DISCUSSION.....32

1	<i>Etude in situ.....</i>	32
1.1	Etude des Cladocères présents dans le plancton de la Meuse sur un cycle annuel (juillet 2003-juillet 2004).....	32
1.1.1	Cycle annuel.....	32
	A. Les différentes familles de Cladocères.....	32
	B. Les différentes espèces de Cladocères benthiques.....	34
1.1.2	Comparaison entre 1997, 1998 et 2003-2004.....	34
1.1.3	Commentaire général sur les Cladocères benthiques dans le plancton, comparaison avec d'autres systèmes.....	35
1.2	Etude dans les sédiments.....	36
1.3	Parallèle entre les études sur les deux compartiments (plancton vs. Benthos)....	37
2	<i>Etudes en laboratoire.....</i>	38
2.1	Expériences préliminaires.....	38
2.1.1	Croissance comparée de <i>Macrothrix hirsuticornis</i> sur des détritiques stériles et non stériles.....	39
2.1.2	Croissance comparée de <i>Chydorus sphaericus</i> sur des détritiques stériles et non stériles.....	39
2.1.3	Parallèle entre <i>Macrothrix hirsuticornis</i> et <i>Chydorus sphaericus</i> .....	39
2.2	Expériences proprement dites.....	40
2.2.1	Effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la reproduction chez <i>Macrothrix hirsuticornis</i> .....	40
2.2.2	Effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez <i>Macrothrix hirsuticornis</i> .....	42

2.2.3	Effets de la disponibilité en nourriture sur la dynamique chez <i>Chydorus sphaericus</i> élevés en groupe à 20°C.....	42
2.2.4	Effets de la disponibilité en nourriture sur la dynamique chez <i>Alona quadrangularis</i> élevés en groupe à 20°C.....	43
2.2.5	Commentaire général sur les différentes expériences réalisées.....	43
2.3	Autres tentatives d'élevages.....	45
2.3.1	<i>Alona rectangula</i> .....	45
2.3.2	<i>Disparalona rostrata</i> .....	46
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>48</b>
1	<i>Etudes sur la Meuse</i> .....	48
2	<i>Etudes en laboratoire</i> .....	49
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>52</b>

C'est une triste chose de songer que la nature parle  
Et que le genre humain n'écoute pas.

Victor Hugo

**INTRODUCTION  
ET**

**SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

# INTRODUCTION

Les Cladocères sont de petits crustacés Entomostracés, offrant une grande diversité taxinomique. Ils sont régulièrement étudiés, que ce soit dans leur environnement naturel ou dans des conditions artificielles de laboratoire. La plupart des études ont été réalisées sur des espèces planctoniques habitant lacs et étangs. Par contraste, toute une diversité d'espèces benthiques a été moins étudiée, celles qui vivent dans les sédiments des lacs ou rivières.

L'étude la plus importante réalisée en milieu naturel est celle effectuée sur la Tamise (Robertson 1990, 1995a, b, 2000). En suivant des populations d'espèces benthiques au cours du temps, les différentes études ont pu montrer les dynamiques de ces populations jouant un rôle important comme maillon détritivore dans la chaîne alimentaire. De plus, ils peuvent assimiler plus efficacement le carbone des microbes associés aux détritiques que les macrocrustacés.

Dans la Meuse, peu de données sont disponibles sur les Cladocères. A partir de 1997, des données plus précises sont disponibles grâce à la thèse de Laurent Viroux (2000). La dépendance du développement de ces crustacés au régime hydrologique a été clairement démontrée, tandis que l'existence de communautés benthiques bien développées a été introduite. Ce mémoire s'y intéresse plus précisément.

Au cours de ce travail, une approche double a été mise en place pour étudier la dynamique et la diversité des Cladocères benthiques en Meuse.

Nous avons dans un premier temps procédé à des prélèvements dans le plancton et dans les sédiments en un site sélectionné. Ces prélèvements avaient pour but d'obtenir une première information faunistique sur les Cladocères benthiques présents. L'étude dans les sédiments nous permettait par ailleurs de juger de la présence de populations résidentes dans le fleuve.

L'étude en laboratoire, portant sur deux espèces considérées comme modèle des communautés présentes dans le milieu, a pour but d'approcher la dynamique de populations des Cladocères benthiques en Meuse dans des conditions de vie les plus proches possibles de leur milieu naturel. Les effets combinés de deux facteurs de l'environnement, la température et la disponibilité en nourriture, ont été testés.

En combinant ces deux approches complémentaires, nous souhaitons obtenir une première information sur la phénologie de ces organismes et sur leurs capacités d'accroissement en conditions aussi proches que possible de celles observées *in situ*.

Dans la première partie de ce travail, une analyse bibliographique décrit et synthétise les informations concernant les Cladocères en général, les particularités de la biologie des Cladocères benthiques, le rôle des Cladocères dans la chaîne trophique. Nous examinons ensuite les connaissances se rapportant au zooplancton crustacé dans les milieux lotiques, comprenant les contraintes de l'environnement pour leur survie, les données disponibles dans quelques grandes rivières, et finalement la situation dans la Meuse.

Ensuite, la deuxième partie donnera la description du matériel et des méthodes utilisées dans les différentes études sur la Meuse et en laboratoire. La troisième partie sera consacrée aux résultats obtenus et à la discussion de ceux-ci.



# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1 Les Cladocères : généralités

Dans ce paragraphe, nous développerons tout d'abord la position systématique et la diversification des Cladocères au cours du temps.

Ensuite, nous développerons les caractéristiques générales et morphologiques des Cladocères. Nous expliquerons également leur cycle de vie en parlant successivement de la parthénogenèse et la reproduction sexuée.

Nous terminerons par la biologie et l'écologie en abordant leur habitat diversifié dans les eaux stagnantes et calmes, leur mode d'alimentation et leur régime alimentaire ainsi que leur relation avec l'environnement abiotique et biotique.

### 1.1 Position systématique et diversification

Les Cladocères sont rattachés aux crustacés Branchiopodes. Comme tous les Entomostracés, ils sont de petite taille, mais offrent une grande diversité taxonomique, car nous y retrouvons 4 ordres, 11 familles et 80 genres (Dole-Olivier *et al.*, 2000) (Tableau 1). Le nombre exact d'espèces est inconnu, mais il est estimé entre 450 et 600 espèces, avec seulement 3 % peuplant les eaux saumâtres et 2 % présents en milieux marins (Amoros, 1996).

Ordres	Familles	Genres
Cténopoda	• Sididae	➤ 8 genres dont un marin
	• Holopedidae	➤ un seul genre
Anomopoda	• Daphniidae	➤ 7 genres
	• Moinidae	➤ 2 genres
	• Macrothricidae	➤ 17 genres
	• Bosminidae	➤ 3 genres
	• Chydoridae	➤ 32 genres
Onychopoda	• Polyphemidae	➤ Un genre
	• Podonidae (marin)	➤ 6 genres
	• Cercopagidae	➤ 2 genres
Haplopoda	• Leptodoridae	➤ Un genre et une espèce

Tableau 1 : Classification des Cladocères (d'après Amoros, 1996).

Les Cladocères sont présents dans le monde entier. Les ancêtres des Cladocères modernes sont des animaux benthiques ou littoraux probablement apparus au Paléozoïque. Ceux-ci se sont diversifiés au Mésozoïque (Frey, 1987). Les Cladocères sont présents dans toutes les eaux continentales mais également dans les milieux marins.

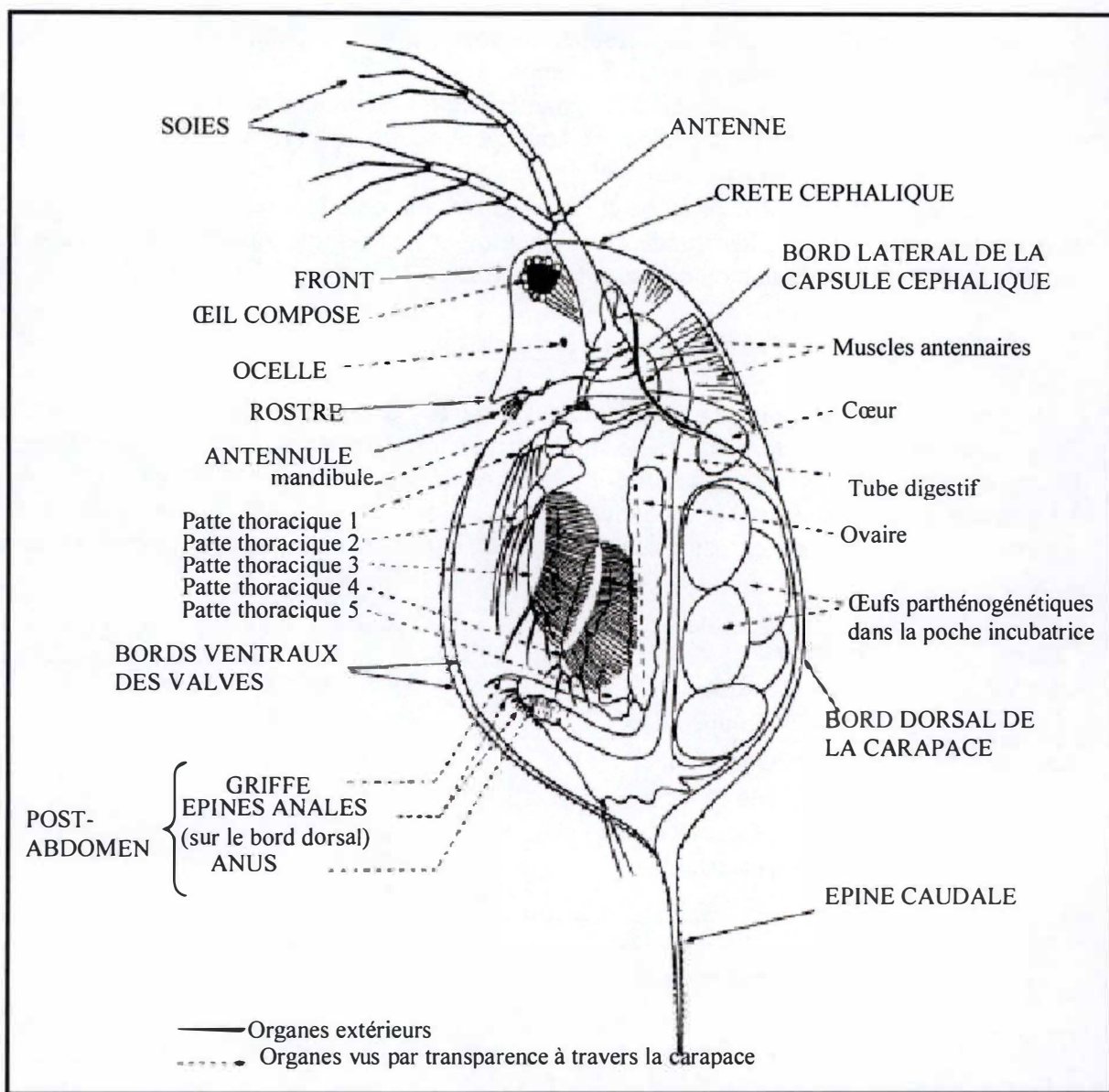


Figure 1 : Organisation anatomique d'un Cladocère planctonique femelle du genre *Daphnia*, en vue latérale (d'après Amoros, 1984).

## 1.2 Les caractéristiques générales et morphologiques

Les Cladocères sont des animaux de petite taille mesurant entre 0,2 et 3 mm. Ils atteignent exceptionnellement 15 mm chez une seule espèce, *Leptodora kindtii* FOCKE, 1844 (Amoros, 1996). Les Cladocères font partie de la classe des crustacés Branchiopodes, le corps présente les différentes parties (tête, thorax, abdomen) caractéristiques de l'anatomie des crustacés, mais aucune segmentation n'est apparente. Une carapace bivalve embrasse le tronc qui comprend le thorax et l'abdomen. Pour terminer l'abdomen, nous trouvons un post-abdomen flexible. La tête est protégée par un bouclier céphalique (Figure 1).

La tête porte un œil composé associé à un ocelle, les antennules et les antennes. L'œil composé est situé au centre de la tête (Amoros, 1984). L'ocelle, s'il est présent, se situe soit postérieurement soit ventralement par rapport à l'œil composé. L'œil et l'ocelle peuvent être fortement réduits chez les espèces vivant dans les milieux hyporhéiques (Dumont, 1995). Les antennules jouent un rôle sensoriel. Les antennes, organes principaux de la locomotion, sont habituellement longues et ramifiées, plus ou moins puissantes. Ces dernières se terminent par des soies, ce qui augmente la surface portante des antennes. Par ailleurs, la tête peut également comporter un rostre, et enfin elle porte les mandibules.

Le thorax porte de 4 à 6 paires de membres non segmentés, appelés péréiopodes, généralement utilisés pour collecter la nourriture (Amoros, 1984). Il a été démontré que les péréiopodes sont plus qu'un appareil de filtration. En effet, ils sont équipés de structures glandulaires et sensorielles qui en font une sorte de "bouche fonctionnelle" où les fonctions sécrétrices et gustatives se trouvent, avant l'appareil de mastication (Dumont & Silva-Briano, 1997). Certains cladocères possèdent également une épine caudale.

Le post-abdomen porte une griffe, des épines anales, et se termine par l'anus. Il fait fréquemment saillie hors des valves, et peut alors atteindre les pattes thoraciques. Il permet de nettoyer l'appareil de filtration, à l'aide de la griffe. Il intervient également dans la locomotion des espèces benthiques et périphtiques (Amoros, 1984).

Les Cladocères ne possèdent pas d'organe respiratoire : les échanges de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> se font sur toute la surface du corps au travers de téguments très minces. Dans les parties internes du thorax, nous trouvons le cœur, le tube digestif, une paire d'ovaires, et la poche incubatrice. Le cœur apparaît comme une petite poche transparente ovale ou sphérique dans la région dorso-antérieure du thorax. Il n'y a pas de vaisseaux sanguins, car la circulation est lacunaire. Le tube digestif débute ventralement par la bouche, forme parfois quelques cæca et se termine dans le post-abdomen par un rectum qui précède l'anus. Les ovaires sont disposés de chaque côté du tube digestif dans la région thoracique. La poche incubatrice se situe en position dorsale. C'est à cet endroit que seront pondus les œufs et les embryons des œufs parthénogénétiques qui vont s'y développer (Amoros, 1984).



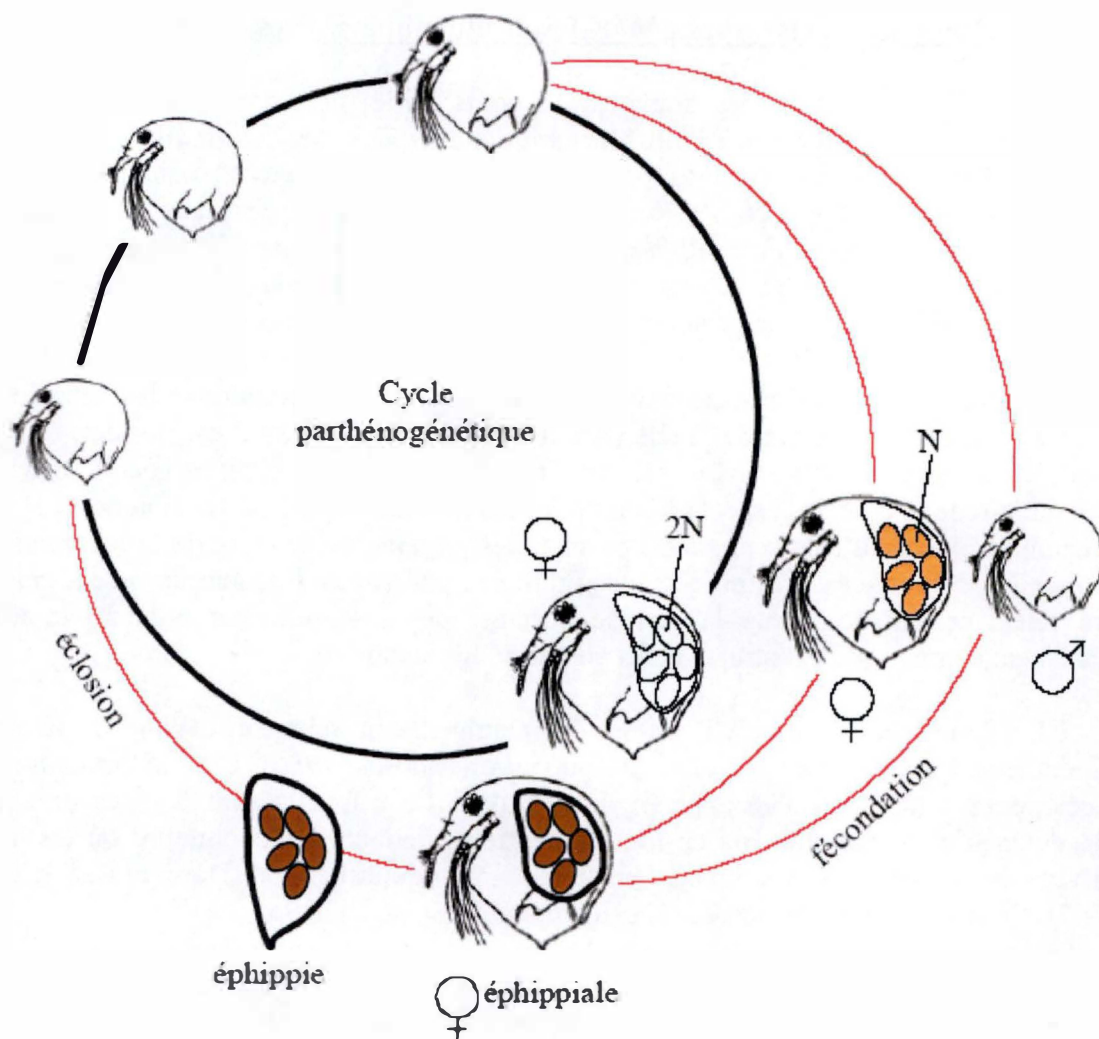


Figure 2 : Cycle reproducteur des Cladocères (d'après Viroux, 2000).

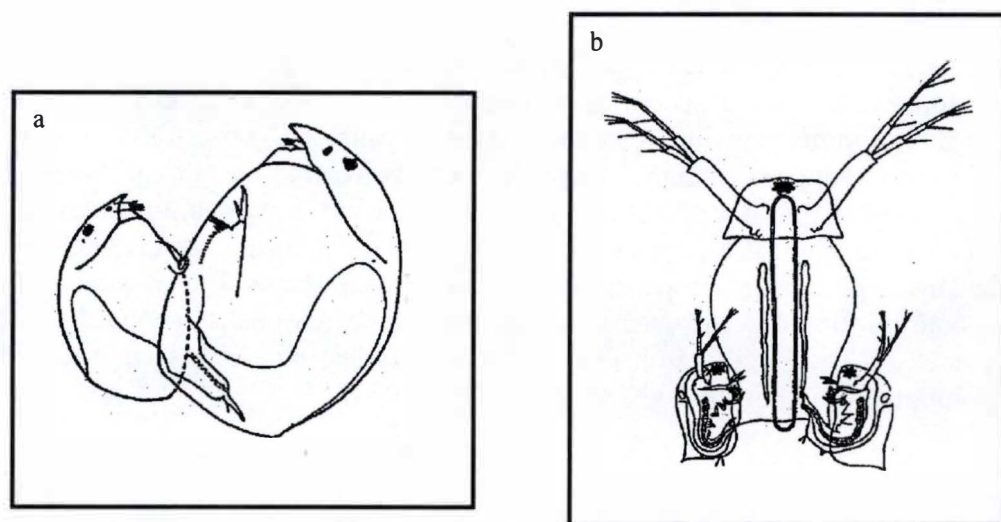


Figure 3 : Accouplement chez les Cladocères. a : Accouplement de *Oxyurella tenuicaudis* : le sperme est introduit dans la chambre incubatrice. b : Accouplement de *Daphnia magna* : le sperme est introduit dans les oviductes (d'après Amoros, 1996).

Les composants chitineux de l'exosquelette (carapace, bouclier céphalique, post-abdomen, griffe post-abdominale, segment d'antenne et mandibule) des Cladocères se préservent très bien dans les sédiments (Frey, 1987). Ces parties sont souvent utilisées dans les reconstitutions paléoécologiques de changements environnementaux. Une information écologique existe pour la plupart des espèces : comme elles sont sensibles aux changements des variables environnementales telles que l'état trophique, la salinité et l'intensité de prédation (Shumate *et al.*, 2002), il est possible de retracer, à partir de résidus de Cladocères conservés dans les sédiments, l'historique des principales variations environnementales encourues par un lac ou un cours d'eau.

### 1.3 Le cycle de vie des Cladocères

Les Cladocères se reproduisent la plupart du temps par parthénogenèse thélytoque (Lynch, 1980) (Figure 2), c'est-à-dire qu'une femelle va couvrir des œufs diploïdes ( $2n$ ) qui donneront des femelles. Ces œufs sont protégés durant tout leur développement dans la poche incubatrice et ne sont libérés qu'au stade juvénile à la faveur d'une mue le plus souvent. Ils passent alors par plusieurs stades non reproducteurs avant d'être matures sexuellement. Les Cladocères grandissent toute leur vie et muent régulièrement. Leur durée de vie est dépendante des conditions environnementales. Les femelles peuvent vivre 2 à 3 mois, tandis que la durée de vie des mâles est d'environ 3 semaines. La gestation est plus courte en été et plus longue au printemps (Dole-Olivier *et al.*, 2000).

Les différentes familles de Cladocères ont des temps de développement embryonnaire variable. Une relation existe entre la taille de la femelle et le nombre d'œufs produits au cours de sa vie. Le nombre total d'œufs recensés chez les espèces de *Daphnia* MÜLLER, 1785 varie entre 500 et 700 œufs par femelle contre une moyenne de 122,3 œufs par femelle chez *Macrothrix flabelligera* SMIRNOV, 1992 (Guntzel *et al.*, 2003).

Lorsque les conditions du milieu se dégradent (raccourcissement de la photopériode, chute de la température, raréfaction des ressources en nourriture,...), on assiste à l'apparition de mâles (Dole-Olivier *et al.*, 2000) issus du développement particulier de certains œufs parthénogénétiques (Amoros, 1996). Peu après, apparaissent dans la population des femelles capables de pondre des œufs haploïdes ( $n$ ) (Dole-Olivier *et al.*, 2000). L'accouplement se produit juste après la mue de ces femelles. Le mâle, toujours plus petit, se fixe sur le bord ventral de la femelle à l'aide des crochets de ses premiers péréiopodes (Amoros, 1996) (Figure 3). Après fécondation, les œufs sont enfermés dans une capsule protectrice épaisse (2 membranes embryonnaires) qui va former l'éphippie (Fryer, 1996). Celle-ci, libérée lors de la mue ou à la mort de la mère, assure à ces œufs une protection remarquable leur permettant de résister à l'action de la dessiccation, du gel et même au transit à travers certains tubes digestifs comme ceux des canards. L'éphippie persistera jusqu'au moment où les conditions environnementales redeviendront propices. À l'éclosion, nous aurons de nouveau des femelles diploïdes qui redémarrent le cycle parthénogénétique (Amoros, 1984).

La reproduction sexuée est la seule possibilité pour qu'une recombinaison génétique se produise et puisse ainsi générer de nouveaux génotypes. Les seules exceptions seront les mutations (Lynch, 1980). Elle permet également une dissémination des œufs (Amoros, 1996).

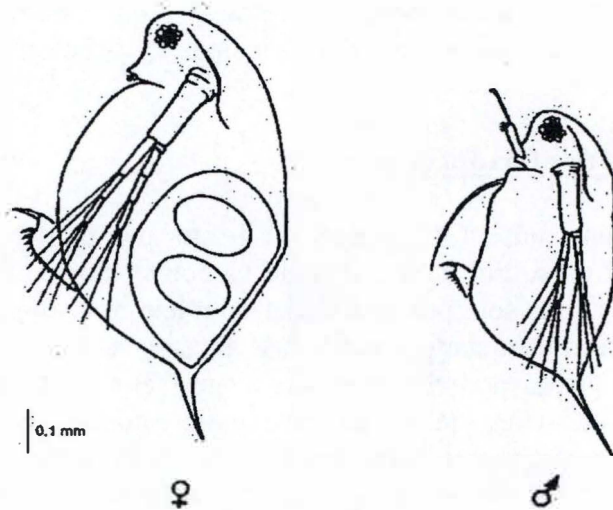


Figure 4 : Femelle éphippiale et mâle de *Daphnia* (d'après Amoros, 1996).



Certaines espèces vont laisser leurs œufs flotter au gré du courant, tandis que d'autres vont les accrocher au substrat. Certaines espèces de la famille des Sididae ne produisent pas d'éphippie, mais lâchent leurs œufs de persistance directement dans l'eau. Ils coulent dès lors dans les sédiments (Frey, 1987). Beaucoup d'espèces de Cladocères ont opté pour la tactique d'attacher leurs œufs de persistance à un support. On peut supposer qu'il est souvent plus avantageux d'assurer la persistance d'une population dans un habitat favorable que de laisser des œufs sujets au hasard d'une dispersion, avec une faible chance qu'ils éclosent dans une situation favorable (Fryer, 1996).

Entre les femelles et les mâles, un dimorphisme sexuel important existe (figure 4). Il peut être repéré au niveau des antennules. En effet, chez les mâles, elles sont très allongées, prolongées par un flagelle et elles sont pourvues quelquefois d'épines en crochet favorisant le maintien des femelles lors de l'accouplement. Au niveau de la première paire de pattes thoraciques (périopodes), les mâles ont un crochet apical ou subapical permettant le maintien de la femelle lors de l'accouplement (Amoros, 1996).

Quoiqu'un certain nombre de facteurs environnementaux puissent influencer la croissance, la reproduction et la survie des espèces, les plus importants sont la température, la disponibilité de la nourriture, ainsi que la qualité de celle-ci. Il a en effet été montré que le temps de développement est dépendant de la température et que la fécondité est largement déterminée par les conditions nutritionnelles (Guntzel *et al.*, 2003).

Par ailleurs, quelques espèces de *Daphnia* sont connues pour produire par parthénogenèse thélytoque des œufs de durée éphippiaux, appelés "œufs pseudosexués". Ceux-ci permettent à leurs populations de résister aux conditions hivernales et de se perpétuer malgré l'absence des mâles (Amoros, 1996).

La reproduction, comme la croissance, nécessite beaucoup d'énergie pour les Cladocères. Une faible disponibilité en nutriments risque d'avoir des effets sur la population. Cependant, étant donné que les Cladocères adultes pondent une nouvelle couvée à 3-7 jours d'intervalle, l'impact de ce coût peut ne pas être révélé tout de suite. En effet, il faut entre 2 et 3 jours pour que ce manque de nourriture soit observable. Dès lors, si la femelle est porteuse d'œufs au début du manque de nourriture, cette portée ne sera pas affectée par ce manque. Par contre, les portées suivantes risquent de l'être (Sarma *et al.*, 2002).

## **1.4 Biologie et écologie**

### **1.4.1 Habitats**

Dans les eaux continentales, les Cladocères abondent surtout dans les eaux stagnantes ou les parties calmes des cours d'eau, bien qu'on puisse en observer dérivant dans les milieux lotiques, où ils font partie du potamoplancton.

Tous les types d'habitats des eaux calmes et stagnantes sont colonisés par les Cladocères. On y rencontre des formes planctoniques caractéristiques telles que des espèces des genres *Daphnia*, *Leptodora* LILLJEBORG, 1861, *Diaphanosoma* FISCHER, 1850 ou *Moina* BAIRD, 1850. Les fins détritus piégés par la surface de l'eau et le voile bactérien qui s'y développe sont exploités par des espèces hyponeustoniques de la famille des Daphniidae.

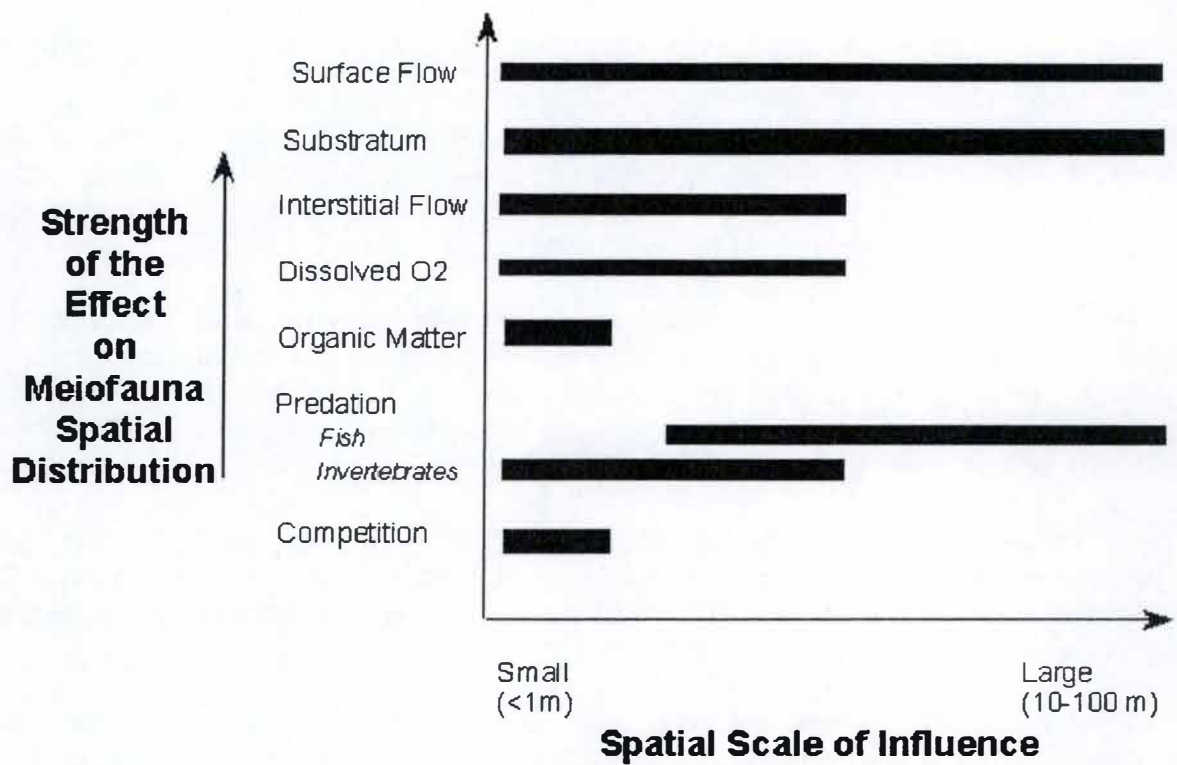


Figure 5 : Résumé des facteurs les plus représentatifs qui influencent la distribution spatiale de la méiofaune lotique (d'après Swan et Palmer, 2000).

Les herbiers sous-aquatiques sont colonisés par de très nombreuses espèces de Chydoridae, Sididae, Daphniidae, etc. Parmi les Chydoridae et Macrothricidae existent de nombreuses espèces benthiques qui vivent soit à la surface des débris organiques accumulés au fond, soit au sein même de la couche de détritus. Certaines espèces benthiques colonisent les fonds sableux. On trouve également des Cladocères dans les eaux souterraines interstitielles des alluvions sablonneuses des lacs et des cours d'eau (Amoros, 1996).

#### 1.4.2 Mode d'alimentation et régime alimentaire

Dans leur très grande majorité, les Cladocères sont considérés comme des omnivores phytophages mais aussi bactériophages ou détritivores à l'exception de prédateurs tels que *Leptodora* ou *Polyphemus* L., 1758 qui se nourrissent de Protozoaires, Rotifères ou petits Crustacés. Les Sididae, Daphniidae et Moinidae sont typiquement des filtreurs. Quant aux Macrothricidae et Chydoridae, ils peuvent, à l'aide de leurs premiers appendices modifiés, prélever les particules nutritives au niveau du substrat (Rey & Saint-Jean, 1980).

Au cours d'une année, sur un même site d'échantillonnage, il est possible d'observer des successions saisonnières chez les populations de Cladocères. Ceci a été démontré notamment dans le cadre d'une étude dans une rizière en Italie (Leoni *et al.*, 1999). Ces auteurs ont observé qu'au début de la saison, lorsque la production en phytoplancton était importante, les formes euplanctoniques dominaient, telles que *Daphnia galeata* SARS, 1864, deux espèces de *Moina* et *Wlassicsia pannonica* DADAY, 1904. Dans la phase suivante, d'autres Daphniidae et trois Chydoridae apparaissaient. Dans la dernière phase, quand les processus de décomposition augmentaient, les espèces en connexion avec la chaîne détritique prévalaient : Chydoridae, Macrothricidae et *Ceriodaphnia reticulata* JURINE, 1820.

#### 1.4.3 Relation avec l'environnement abiotique et biotique

De multiples facteurs opérant à plusieurs échelles interagissent pour produire des patrons complexes dans la distribution de la méiofaune lotique. Ce sont l'écoulement de surface, le substrat, l'écoulement interstitiel, l'oxygène dissous, la matière organique, la prédation par les poissons et invertébrés et la compétition (Figure 5).

Le flux d'eau interagit fortement avec le substrat pour façonner l'habitat benthique, pour déterminer la mobilité du lit et pour influencer la distribution de la méiofaune à toutes les échelles. L'écoulement rapide qui transporte la faune associée au substrat peut déterminer la distribution, mais une fois que la méiofaune dérivante est déposée sur un site, les conditions locales d'écoulement vont déterminer ses mouvements à petite échelle, et cette distribution est réglée avec précision.

Les mouvements de la faune locale peuvent être gouvernés par la réponse de la faune à la concentration en oxygène ou aux ressources utilisables, les deux étant liées à l'écoulement dans les systèmes lotiques. Comme le courant, la prédation peut opérer à petite et à grande échelle dans les rivières et peut interagir de façon complexe avec les ressources utilisables et la dispersion de la faune.



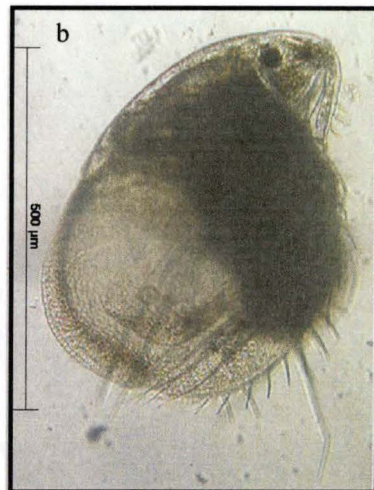


Figure 6 : Photographies illustratives des deux familles de Cladocères benthiques : a : Chydoridae, b. : Macrothricidae (photos : auteur).

	Afrique	Amérique du Sud	Amérique du Nord	Asie	Australie	Europe
<b>Chydoridae</b>						
<i>Eurycercinae</i>						
<i>Aloninae</i>						
<i>Chydorinae</i>						
<i>Saycinae</i>						
<i>Kozhowia</i>						
<i>Indialona</i>						
<i>Leydigiopsis</i>						
<b>Macrothricidae</b>						
<i>Acantholeberis</i>						
<i>Ophryoxus</i>						
<i>Bunops</i>						
<i>Lathonura</i>						
<i>Wlassiscia</i>						
<i>Drepanothrix</i>						
<i>Parophryoxus</i>						
<i>Pseudomoina</i>						
<i>Neothrix</i>						

Tableau 2 : Distribution géographique de quelques catégories de Cladocère benthiques (d'après Sacherova and Hebert, 2003 et Dole-Olivier et al., 2000).

Les poissons prédateurs sont un facteur de contrôle biotique agissant à relativement grande échelle, qui peuvent induire la dérive de la méiofaune et forcer l'émigration d'organismes venant du benthos. Les abondances locales de prédateurs sont contrôlées par beaucoup de ces mêmes facteurs qui déterminent la distribution de la méiofaune. L'architecture du substrat influence l'écoulement interstitiel et la concentration en O<sub>2</sub>.

A petite échelle, la compétition est souvent négligée et est très difficile à mesurer sur le terrain. La détection des interactions compétitives entre les espèces de la méiofaune est nécessaire à la compréhension du rôle fonctionnel de celle-ci dans les systèmes lotiques. La compétition à cette petite échelle peut initier des interactions méiofaune-microbes et finalement déterminer le taux de décomposition et le transfert d'énergie des détritux aux niveaux trophiques supérieurs. Il semblerait que la compétition entre la méiofaune et les autres macroinvertébrés soit un phénomène important dans les rivières, spécialement durant les périodes d'étiage, quand le contrôle biotique de la structure de la communauté peut être important (Swan & Palmer, 2000). Il a été démontré que les Cladocères ne sont pas présents dans les sédiments lorsque le taux de saturation d'O<sub>2</sub> est inférieur à 15,5 %. Cependant, ce n'est pas le seul critère, la matière organique particulaire et dissoute, ainsi que la structure des sédiments, jouant un rôle important dans la distribution des communautés benthiques (Schmidt, 1994).

## 2 Particularités de la biologie des Cladocères benthiques

### 2.1 Diversité et zoogéographie

Les Cladocères benthiques sont représentés majoritairement par les Chydoridae et les Macrothricidae (Figure 6). Les Chydoridae présentent un grand nombre de caractéristiques morphologiques et écologiques communes avec l'ancêtre proposé des Anomopodes. Lorsque la Pangée a commencé à se fragmenter, il y a 180 millions d'années, un jeu similaire d'espèces prototypes est probablement parti sur chaque continent établi (Sacherova & Hebert, 2003). Ceci peut être expliqué par le tableau 2 où nous voyons que les espèces de Chydoridae ont une distribution mondiale plus large que les Macrothricidae.

En Australie, 9 genres endémiques sont présents, reflétant l'isolement de ce continent (Dole-Olivier *et al.*, 2000). Peu d'espèces sont cosmopolites, comme on aurait pu le penser auparavant (Chengalath, 1987), et une dispersion à court terme ne semble pas être un facteur affectant la distribution intercontinentale des espèces. Dumont a, quant à lui, rapporté la distribution cosmopolite de seulement 25 espèces de Chydoridae et de 5 espèces de Macrothricidae (Dumont, 1994 in Dole-Olivier *et al.*, 2000).

Quelques différences morphologiques notables s'observent entre les Chydoridae et les Macrothricidae. Chez les Chydoridae, la carapace bivalve est plus ou moins globuleuse ou comprimée latéralement suivant les genres (Amoros, 1984). De plus, tous les Chydoridae possèdent un oeil composé et un ocelle bien développé, toujours bien visible, en avant de l'œil composé. Cet œil est de taille égale à celle de l'ocelle ou parfois plus petit (Dumont, 1995). Par ailleurs, un rostre curviligne prolonge en avant et ventralement la courbure dorsale de la carapace chez les Chydoridae. Chez les Macrothricidae, les antennules sont longues et mobiles. De plus, la tête est dépourvue de rostre et l'épine anale du post-abdomen est simple.



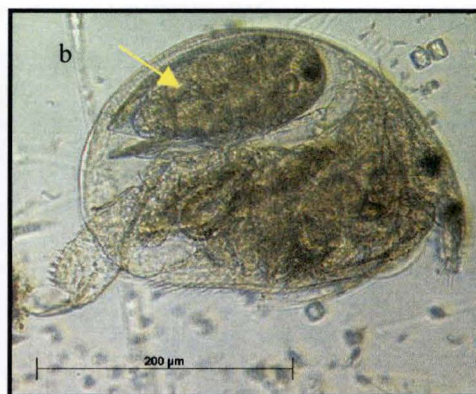
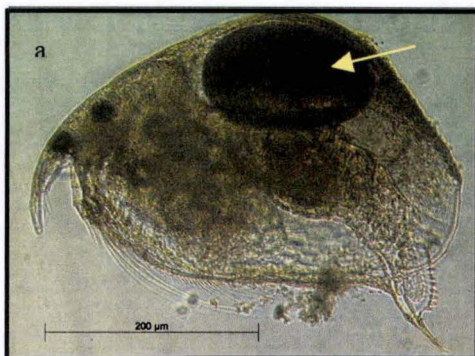


Figure 7 : Photographies de Chydoridae femelles portant des œufs. a : *Disparalona rostrata* avec deux œufs (grossissement 20 x) b : *Alona rectangula* avec deux embryons (grossissement 20 x) (photos : auteur).



Une caractéristique commune est que leurs antennes sont courtes, voire très courtes (Amoros, 1984). Ce sont donc généralement de médiocres nageurs.

Par ailleurs, ces deux familles présentent aussi des différences sur le plan reproducteur. Les Chydoridae (sauf *Eurycercus* BAIRD, 1843 et *Monospilus* SARS, 1862) produisent 2 œufs dans leur poche incubatrice par couvée, (Robertson, 1988) (Figure 7). Le Macrothricidé *Macrothrix flabelligera* par contre, va produire sur sa vie en moyenne 9 couvées avec une fécondité moyenne de 13,6 œufs chacune à  $\pm 35,9$  heures d'intervalle (Guntzel *et al.*, 2003). Vila a également pointé que de nombreux Chydoridae possèdent des œufs de persistance avec des crochets et des épines. Ceux-ci peuvent se fixer dans la masse benthique et y rester jusqu'à l'éclosion au lieu d'être lisses et de dériver dans la colonne d'eau, comme ceux d'autres espèces de Cladocères (Vila, 1989 in Richardson, 1991). De manière générale, les espèces benthiques sont de petite taille, aplaties dorso-ventralement et plaquées contre le substrat, ce qui apparaît comme une adaptation pour réduire la pression hydrodynamique (Angelier, 2000a).

Les Chydoridae présentent également des particularités morphologiques. Celles-ci se présentent dans l'articulation des mandibules, l'articulation des membres du tronc et la morphologie post-abdominale. Ceci permet de déterminer les 4 sous-familles des *Eurycercinae*, *Sayciinae* FREY, 1967, *Aloninae* et *Chydorinae* STEBBING, 1902. Les *Eurycercinae* sont considérées comme les plus primitifs et les *Chydorinae* comme les plus évolués : le nombre de composants dans les structures homologues diminuent et deviennent fixées aux lignées plus avancées. Par exemple, de grandes variations ont été observées dans les couvées. La taille des couvées varie chez les *Eurycercinae* et les *Sayciinae* tandis que la taille de la couvée est fixée à deux œufs chez les *Aloninae* et les *Chydorinae* (Sacherova & Hebert, 2003). En moyenne, le nombre de générations de Chydoridae par an peut être estimé à 20 (Robertson, 1995b).

Les Chydoridae sont toujours associés au substrat tel que les plantes vasculaires ou le sédiment. Ils se nourrissent principalement de détritus. Leurs modes de déplacements sont assez diversifiés. La radiation adaptative chez les Chydoridae a été spectaculaire. Certains vont gratter dans les plantes, ramper, escalader, creuser tandis que d'autres vont habiter dans la boue. La locomotion chez les Macrothricidae est par contre moins spécialisée. Les Macrothricidae et Chydoridae fréquentent plus aisément la boue et l'argile des substrats fins dans lesquels ils peuvent creuser. Pour collecter leur nourriture, les Chydoridae grattent les particules attachées ou sédimentées avec leurs membres (Dole-Olivier *et al.*, 2000). Les Chydoridae et les Macrothricidae se nourrissent principalement de détritus et occasionnellement d'algues (Amoros, 1996). Les détritus seront plus facilement assimilés si un biofilm (champignons, diatomées, bactéries et leurs productions extracellulaires) les entoure (Schmid-Araya & Schmid, 2000). De plus, il a été montré que plusieurs espèces littorales ne survivent pas en laboratoire en absence de matière organique et des conditions associées à celle-ci (Enriquez Garcia *et al.*, 2003). Par ailleurs, par son activité de broutage, la méiofaune contribue au recyclage du matériel détritique et peut influencer le taux de décomposition ainsi que l'activité bactérienne dans les écosystèmes d'eau douce (Swan & Palmer, 2000). Pour se déplacer, les Chydoridae et les Macrothricidae benthiques utilisent rarement leurs antennes. Ce sont les mouvements des péréiopodes et quelquefois du post-abdomen qui assurent leur locomotion sur le substrat ou entre les particules détritiques (Amoros, 1996).

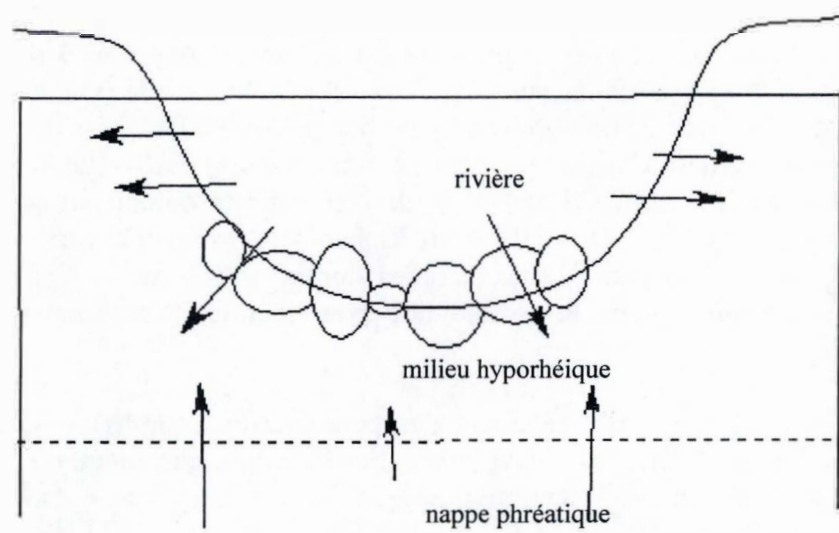


Figure 8 : Schéma du milieu hyporhéique et son alimentation à partir de la rivière et de la nappe phréatique.  
(d'après Angelier, 2000b).

Il a par ailleurs été remarqué que les Chydoridae peuvent être de bons indicateurs de l'état écologique du milieu étudié. En effet, ils sont sensibles aux changements écologiques. Par exemple, la densité de *Chydorus sphaericus* O. F. MÜLLER, 1785 augmente lorsque l'eutrophisation croît, mais c'est aussi une espèce ubiquiste qui est tolérante à une large gamme de conditions. Cette espèce peut également avoir une existence partiellement planctonique, car elle sait utiliser les filaments algaux comme substrat et source de nourriture. *Chydorus piger* SARS, 1862, *Alona intermedia* SARS, 1862 et *Alonopsis elongata* SARS, 1862 sont quant à eux associés à de faibles alcalinités. *Alona affinis* LEYDIG, 1860 est considérée comme une espèce pionnière bien adaptée pour coloniser de nouveaux habitats, où la végétation littorale et le périphyton ne sont pas encore installés (de Eyto *et al.*, 2002).

Il a été démontré que les microcrustacés benthiques sont présents dans les environnements hyporhéiques<sup>1</sup> (Figure 8) (Shiozawa, 1986) mais leur densité y est plus faible que celle des Copépodes Cyclopoïdes et Harpacticoïdes. Les Cladocères peuvent être considérés, parmi les microcrustacés, comme étant moins bien adapté à la vie en rivière, quoiqu'ils soient bien adaptés par rapport aux limitations imposées par leur microhabitat exigeant (Shiozawa, 1991). En effet, en fonction de la granulométrie et de la structure des sédiments, les invertébrés hyporhéiques présents auront plus ou moins de facilité pour se nourrir, respirer ou se mouvoir. De plus, la concentration en O<sub>2</sub> dissous interstitiel est souvent fortement corrélée avec l'abondance, la biomasse et la richesse taxinomique des invertébrés hyporhéiques, mais ce n'est pas toujours clairement démontré (Olsen & Townsend, 2003). Ce milieu hyporhéique constitue une interface entre les eaux superficielles et souterraines, entre les organismes benthiques et ceux de la nappe phréatique. Il est plus stable que l'horizon superficiel du substrat. En effet, les couches profondes ne sont remaniées que lors de crues exceptionnelles (Angelier, 2000b). Les Chydoridae et Macrothricidae sont représentés dans cet environnement par quelques espèces. *Alona affinis*, *Disparalona rostrata* KOCH, 1841, *Pleuroxus uncinatus* BAIRD, 1850, *Leydigia leydigi* SCHOEDLER, 1863 et *Iliocryptus* SARS, 1862 sont caractérisées comme des taxons stygobiontes<sup>2</sup> ou stygophiliques<sup>3</sup>, vivant dans les sédiments boueux en eau calme, où ils ne doivent pas nager, mais ramper entre les débris organiques et les particules minérales. Ils se nourrissent de petits colloïdes et de matériel particulaire. *Alona rectangula* SARS, 1862 et *Scapholeberis mucronata* O.F. MÜLLER, 1785 sont des espèces stygoxéniques<sup>4</sup> vivant dans la végétation aquatique (Schmidt, 1994).

Les Chydoridae, Macrothricidae et *Simocephalus* SCHÖDLER, 1858 sont principalement benthiques et sont de mauvais nageurs. Dans une étude sur Roik Creek (Oklahoma, USA), ils apparaissaient rarement dans le plancton, sauf dans la dérive, malgré qu'ils soient fréquents sur le substrat. Ces animaux comptent probablement sur une existence strictement benthique pour maintenir leurs populations dans les rivières calmes (Richardson, 1991).

<sup>1</sup> Hyporhéique : milieu constitué par les interstices entre les alluvions déposées dans le lit des rivières.

<sup>2</sup> Stygobionte : animaux vivant dans les cours d'eaux souterrains ou dans les réseaux karstiques

<sup>3</sup> Stygophilique : animaux aimant les cours d'eaux souterrains ou les réseaux karstiques

<sup>4</sup> Stygoxénique : animaux étrangers des cours d'eaux souterrains ou des réseaux karstiques



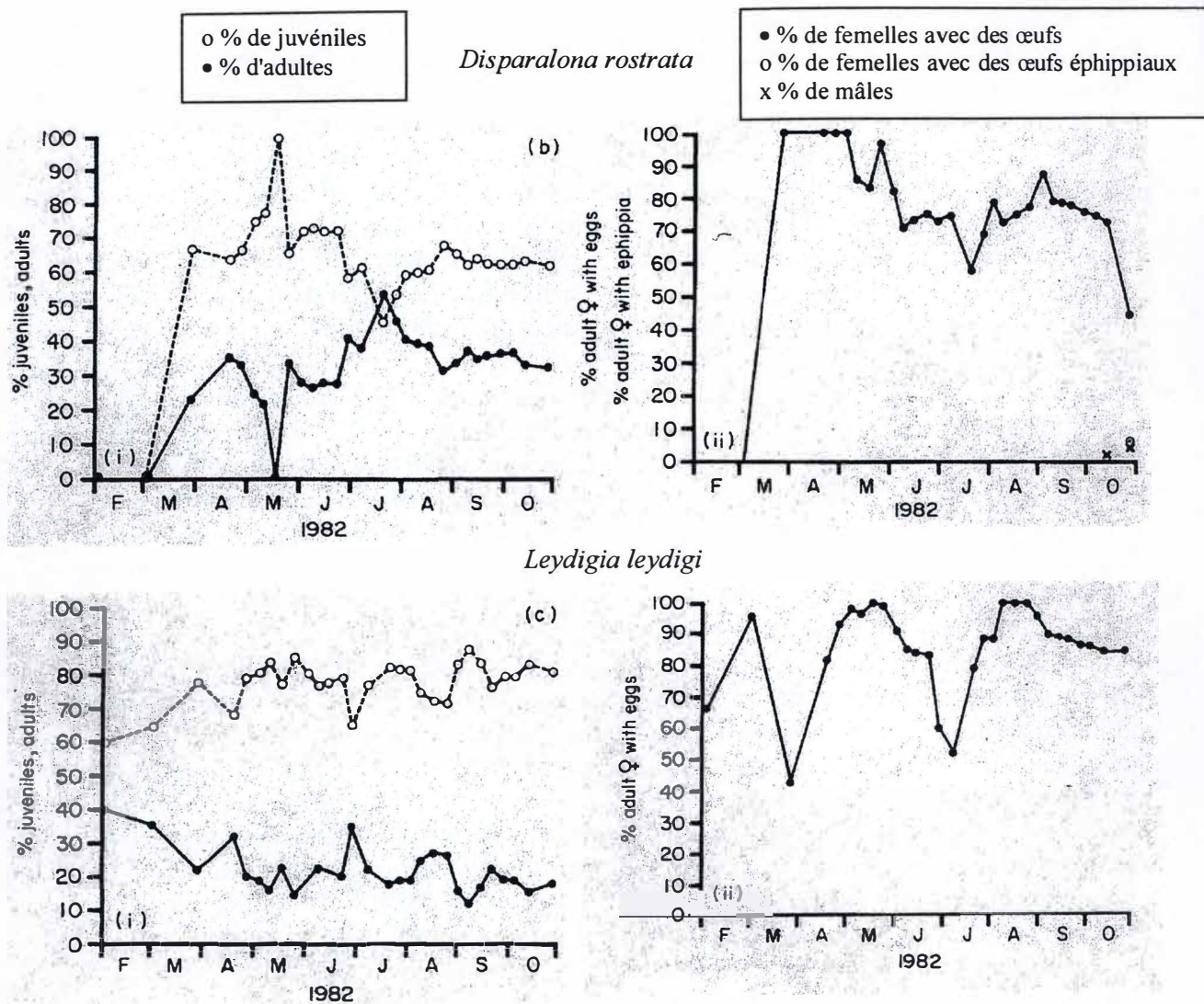


Figure 9 : Variations temporelles des proportions de femelles juvéniles et adultes (gauche) et du pourcentage de femelles gravides (droite) chez deux espèces de Chydoridae de la Tamise (d'après Robertson, 1995b).

## 2.2 Données expérimentales sur leur dynamique

Les études sur la dynamique des populations ont débuté en laboratoire dans les années 70. Il faut attendre les années 80 pour les premières études sur le terrain. Dans ce point, nous développerons tout d'abord quelques études réalisées sur le terrain. Ensuite, nous aborderons quelques études réalisées en condition de laboratoire.

### 2.2.1 Etudes in situ

Plusieurs études ont été réalisées en milieu naturel et ce, dans différentes régions du monde. Les études les plus complètes disponibles sont celles menées sur la Tamise. Elles ont montré que les Chydoridae sont une source importante d'énergie pour les jeunes poissons et sont également les proies d'invertébrés. Ces Cladocères, en raison de l'abondance qu'ils peuvent atteindre dans ce fleuve [50 individus. m<sup>-2</sup> de substrat (Robertson, 1990)], forment un maillon trophique important dans la chaîne alimentaire détritique (Robertson, 1988). Beaucoup d'aspects de l'écologie des Cladocères benthiques sont peu pris en compte, dont leur importance dans les chaînes alimentaires lotiques comme consommateurs d'algues, de microbes et de détritus, et comme proies pour les prédateurs invertébrés et les petits poissons (Robertson *et al.*, 1995a). Une des études d'Anne Robertson (1995b) a montré que la Tamise est un écosystème basé sur les détritus et que les microcrustacés benthiques (Chydoridae et Macrothricidae) pouvaient assimiler le carbone des microbes associés aux détritus plus efficacement que les macrocrustacés, ce qui explique leur présence en nombre dans ce fleuve.

Durant une autre étude, son équipe a étudié la distribution des communautés de Chydoridae et de Macrothricidae au cours des saisons (Robertson, 1990) (Figure 9). Cette étude montre que certains genres de Chydoridae ne disparaissaient pas totalement en hiver car une fraction de la population adulte persiste. La majorité des Chydoridae connaissent une progression démographique qui va dans ce sens : une augmentation rapide en mai et début juin pour atteindre un maximum fin juin, début juillet. Ensuite, une diminution et un deuxième pic moins important fin octobre étaient observés. D'autres espèces telles que *Pleuroxus uncinatus* et *Alona rectangula* étaient plus sporadiques. Lors de l'étude, son équipe a également étudié le Macrothricidé *Iliocryptus sordidus* LIEVIN, 1848, qui subit des changements saisonniers d'abondance différents des Chydoridae. Ils observent un premier pic mi-avril, un deuxième en juin puis une augmentation lente début août pour atteindre un troisième pic à la mi-octobre, précédant la décroissance.

L'évolution des pontes et des stades juvéniles avait une allure différente des variations d'effectifs des adultes. Le pourcentage de juvéniles dans la population oscillait entre 60 et 80 % selon l'espèce et ce maximum était atteint en juin-juillet. Le maximum des femelles porteuses d'œufs pouvait atteindre jusqu'à plus de 90 % de la population adulte au mois de mai.



Par ailleurs, une étude sur la structure des communautés benthiques et la dérive des microcrustacés a été réalisée sur Valley Creek dans le Minnesota (Shiozawa, 1986). Pour cela, cet auteur a échantillonné dans la dérive et dans les sédiments. Cette étude montre que les Cladocères dominants étaient les Chydoridae, qui sont relativement "lourds". Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, ces Cladocères sont considérés comme des spécialistes de la vie benthique, même dans les situations lenticques. Durant cette étude, l'auteur a remarqué que 3 espèces de Chydoridae, *Pseudochydorus globosus* BAIRD, 1843, *Eurycercus lamellatus* O.F. MÜLLER, 1785 et *Alona quadrangularis* O.F. MÜLLER, 1785 étaient abondants dans la dérive. Pour deux de ces espèces, *A. quadrangularis* et *P. globosus*, l'habitat préféré pouvait être caractérisé comme étant une zone boueuse avec des sédiments spécifiques et de fins détritiques. Les particules détritiques grossières (feuilles) pouvaient aussi être présentes mais les classes de taille intermédiaire étaient relativement rares. Leur abondance est plus grande au printemps. Ils sont probablement représentatifs de beaucoup de microcrustacés lotiques, qui sont essentiellement des espèces vivant dans ou près de la surface sédiments-eau. Ils pourraient être plus abondants dans des zones où l'écoulement est quasi laminaire et lent, et où la fine couche-limite entre la masse d'eau et le substrat est relativement épaisse. Un tel habitat est favorable aux dépôts de boue et de matériel détritique. Ces dépôts se font surtout dans les bras morts, le long des rives et dans la végétation.

Ces différentes études montrent que les Chydoridae sont principalement des espèces vivant dans des zones boueuses et que certaines espèces sont présentes toute l'année.

### 2.2.2 Expériences in vitro

Parallèlement, des études en laboratoire sur les Cladocères benthiques ont été réalisées. Il y a presque 40 ans, en Angleterre, Bottrell (1975) a étudié ces Cladocères en laboratoire. Les espèces étudiées étaient *Sida crystallina* O.F. MÜLLER, 1776, *Simocephalus vetulus* O.F. MÜLLER, 1776, *Eurycercus lamellatus*, *Alona affinis*, *Acroperus harpae* BAIRD, 1835, *Graptoleberis testudinaria* FISCHER, 1848, *Chydorus sphaericus* et *Pleuroxus uncinatus*. Il a étudié chez ces différentes espèces le temps de génération, la durée de vie, la durée et la fréquence des mues et les relations avec la température. Il a ainsi démontré qu'avec une source abondante de nourriture la durée de toutes les périodes de développement était inversement proportionnelle à la température. Il a également montré les relations entre la taille des individus, le nombre de stades juvéniles et leur durée, dans le temps de génération. En effet, la majorité des espèces de Chydoridae ont une taille de couvée fixée à 2 œufs, mais ces espèces sont habituellement plus petites que les espèces à couvée variable occupant le même habitat. De par leur taille plus petite, ils passeront par moins de stades juvéniles et se développeront plus rapidement à une température donnée. Ainsi, de manière compensatoire, ils peuvent avoir une capacité reproductive individuelle intéressante.

Une autre étude en laboratoire a démontré que les habitats d'*Eurycercus lamellatus* pouvaient être influencés par la présence ou l'absence de répliques chimiques de prédateurs vertébrés. En effet, *E. lamellatus* en absence de prédateurs se retrouve dans les macrophytes, mais en présence de prédateurs va préférentiellement dans les sédiments (Beklioglu & Jeppesen, 1999). La prédation peut aussi amener à une réduction localisée de l'abondance de la méiofaune dont font partie les Cladocères benthiques, par des changements dans la composition taxinomique de communautés locales amenant à des changements dans la distribution des tailles (Swan & Palmer, 2000).



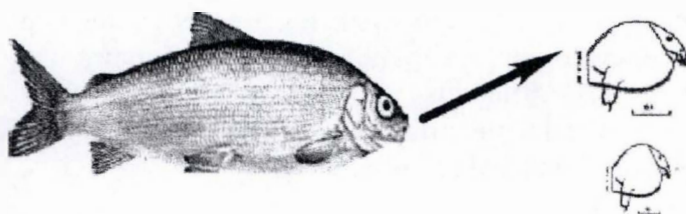
Des études sur trois Chydoridae : *Chydorus sphaericus*, *Alona affinis* et *Alonopsis elongata* ont été réalisées pour examiner la réponse de ces espèces à différentes températures, pH et types de nourriture (de Eyto & Irvine, 2001). Ces auteurs ont de nouveau remarqué que, de manière classique, le temps de développement des œufs, pour les 3 espèces, augmentait quand la température diminuait. Les expériences sur la variation de pH, ont montré que *C. sphaericus* se reproduit sans problème aux différents pH, tandis que le temps de développement des œufs d'*A. affinis* est significativement plus court à faible (5,0) et haut pH (8,4). *A. elongata* pour sa part ne se reproduisait qu'au pH alcalin.

Les expériences réalisées sur le régime alimentaire, dévoilent que *C. sphaericus* est un "généraliste", car ses populations croissent de la même manière quelle que soit la source de nourriture (algues, détritux et eau filtrée). Les populations d'*A. affinis* croissaient le plus rapidement quand la source de nourriture était composée de détritux, et ne survivaient pas dans l'eau filtrée. Pour la population d'*A. elongata*, la meilleure croissance était observée dans la culture nourrie à partir de détritux, mais elle était capable de croître dans les 3 milieux, y compris dans l'eau filtrée. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'*A. affinis* est une espèce littorale à part entière, contrairement à *C. sphaericus* et *A. elongata* qui sont capables de survivre dans l'eau filtrée, probablement parce qu'ils sont capables de consommer des petites particules en suspension.

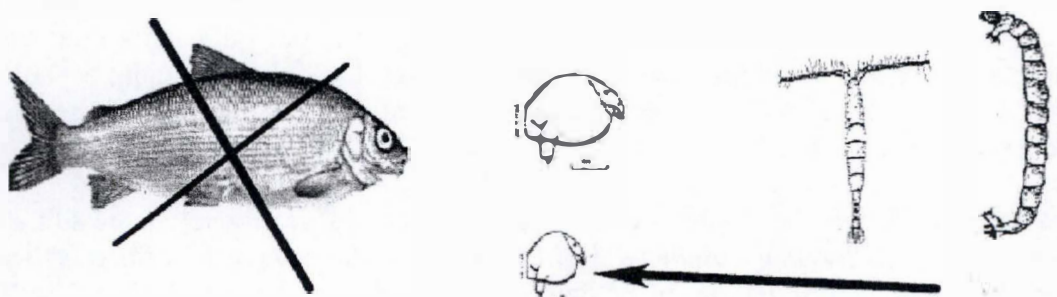
Plus récemment, différentes études sur les Cladocères ont été réalisées, que ce soit sur les espèces benthiques (*Pleuroxus aduncus* JURINE, 1820, *Macrothrix triserialis*, *Alona rectangula*, *Chydorus sphaericus*) ou planctoniques (*Ceriodaphnia cornuta* SARS, 1885, *Moina macrocopa* STRAUS, 1820, *Simocephalus vetulus*). Ces études mettaient surtout en relation la démographie de ces espèces par rapport à la quantité de nourriture proposée (détritux, algues : *Chlorella vulgaris* ou levure de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*) (Enriquez Garcia *et al.*, 2003 ; Muro-Cruz *et al.*, 2002 ; Nandini *et al.*, 2002b ; Nandini & Sarma, 2000a).

Lors d'une de ces études sur la démographie de différentes espèces de Cladocères (*Ceriodaphnia cornuta*, *Moina macrocopa*, *Pleuroxus aduncus* et *Simocephalus vetulus*) en relation avec la quantité de nourriture algale (*Chlorella vulgaris*), ils ont démontré que l'effet de la concentration en nourriture sur la vie des espèces de Cladocères indiquait que la concentration de  $0,5 \times 10^6$  cell/ml était optimale. En effet, il y avait un déclin dans la survie et la production de nouveau-nés avec l'augmentation de la concentration en nourriture probablement parce que ces concentrations augmentaient la dépense d'énergie consentie pour rassembler la nourriture. En fait, des excès de nourriture peuvent paradoxalement conduire à la famine de certains Cladocères car ils dépensent beaucoup d'énergie à nettoyer leurs pattes thoraciques obstruées (Nandini & Sarma, 2000a).

### Prédateurs vertébrés :



### Prédateurs invertébrés :



### Les deux types de prédateurs :

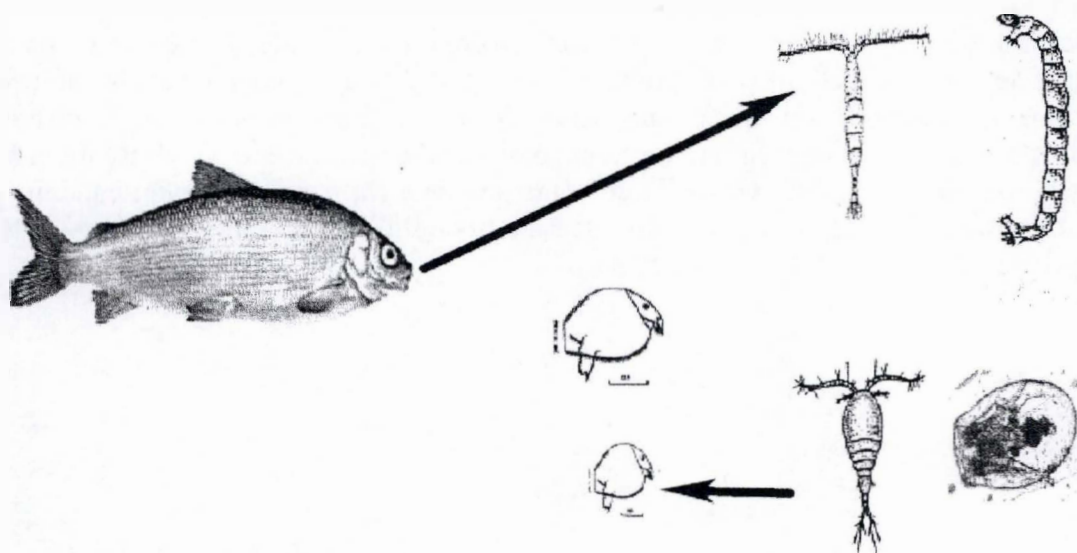


Figure 10 : Schéma expliquant les relations trophiques impliquant les Cladocères en présence ou en absence de certaines catégories de prédateurs (d'après Lynch, 1980).

Par contre, une autre étude, réalisée sur deux autres espèces de Cladocères (*Alona rectangula* et *Macrothrix triserialis*), montre que la croissance de ces populations ne cesse de s'améliorer lorsque la quantité d'algues augmente. Il faut 3 semaines à *M. triserialis* pour atteindre un pic d'abondance de population, tandis qu' *A. rectangula* ne nécessite que 2 semaines. Cette expérience montre que les espèces bien adaptées à de plus grandes densités en nourriture présentent une survie et une croissance meilleures avec une augmentation de la ration (Muro-Cruz *et al.*, 2002). Cette équipe a également montré que la densité de population de ces deux espèces connaissait d'abord une phase de latence de  $\pm 5$  jours, avant d'entrer dans une phase exponentielle puis de se stabiliser ou décliner (Nandini *et al.*, 2002b).

Une dernière étude montre l'effet de différentes nourritures (détritiques, algues : *Chlorella vulgaris* ou levure de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*) sur des populations de Cladocères littoraux (*Macrothrix triserialis*, *Alona rectangula* et *Chydorus sphaericus*). Ces trois espèces croissent difficilement dans les cultures de levures mais poussent convenablement sur les autres milieux. Seul *A. rectangula* montre une plus longue phase de latence si elle est nourrie de détritiques uniquement (Enriquez Garcia *et al.*, 2003).

En général, les différentes espèces étudiées ont un taux de croissance qui augmente avec la température et la nourriture jusqu'à une certaine concentration. Les nourritures le plus souvent administrées sont des algues ou des détritiques. Certaines espèces plus opportunistes survivaient avec d'autres sources de nourriture telles que de l'eau filtrée.

### 3 Le rôle des Cladocères dans la chaîne trophique

Dans son article de 1980, Michaël Lynch expliquait que la présence de prédateurs vertébrés (poissons ou amphibiens) avait trois conséquences importantes sur la composition des communautés de zooplancton (Figure 10). Tout d'abord, les vertébrés planctonophages se nourrissent à la vue. Les adultes de quelques espèces de Cladocères étant plus visibles que les juvéniles spécialement s'ils portent des oeufs, les adultes de grande taille seront éliminés les premiers.

Par ailleurs, en absence de vertébrés planctonophages, les grands invertébrés (Copépodes Calanoïdes, larves de *Chaoborus*, *Chironomidae*, cladocères prédateurs) sont les prédateurs dominants. Ces espèces se nourrissent seulement des Cladocères de petite et de taille moyenne (Lynch, 1980). C'est le cas des Gastrotriches et *Chironomidae* qui vont se nourrir entre autres de Cladocères durant leurs premiers stades de vie (Schmid-Araya & Schmid, 2000). Récemment, il a été démontré que les prédateurs invertébrés pouvaient également capturer des proies plus grandes qu'eux, y compris des alevins. En effet, les prédateurs invertébrés n'ont guère développé leurs organes visuels mais ils compensent ce manque grâce à des mécano- et chémorécepteurs. Par exemple, les larves de *Chaoborus* sont capables de rester immobiles dans la colonne d'eau. Ils peuvent ainsi détecter leur proie grâce à des mécanorécepteurs (Lampert & Sommer, 1997).



Finalement, la prédation peut aussi être intense sur les plus petits Cladocères quand les vertébrés sont présents. En effet, les prédateurs vertébrés, en éloignant les grands prédateurs invertébrés (visibles), permettent aux petits prédateurs invertébrés moins visibles [Copépodes Cyclopoïdes et rotifères prédateurs (exemple : *Asplanchna*)] d'atteindre des densités généralement plus grandes. Ceci pourrait être dû au fait que les petits prédateurs invertébrés sont eux-mêmes les proies des grands prédateurs invertébrés. Cependant, les petits prédateurs consomment seulement les petits Cladocères (Lynch, 1980).

Les prédateurs vont influencer la vie, la morphologie et le comportement des Cladocères. Ils auront différents effets sur la taille, l'âge de la première reproduction, le nombre de progénitures,... (Beklioglu & Jeppesen, 1999).

Il existe une différence importante entre les modalités de la prédation dans le plancton et les environnements littoraux. En effet, beaucoup de prédateurs invertébrés de la zone littorale sont plus grands que ceux présents dans le plancton. La prédation invertébrée sur les grands Cladocères est probablement plus intense dans la zone littorale, particulièrement quand les vertébrés sont absents (Lynch, 1980).

Par ailleurs, la prédation par les prédateurs invertébrés a été souvent négligée et son rôle souvent oublié. Or, des études en cours sont en train de démontrer qu'ils jouent un rôle important dans la chaîne trophique. Les travaux les plus récents ont montré que le pourcentage de proies consommées par les macroinvertébrés était même généralement plus important que celui prélevé par les poissons (Ramcharan, 2004).

## **4 Le zooplancton crustacé dans les milieux lotiques**

### **4.1 Contraintes à la survie des Cladocères en eaux courantes**

Les Cladocères, pour survivre dans les eaux courantes, vont devoir combattre le courant et la prédation. Pour cela, les Cladocères vont devoir trouver des zones de refuges et éviter d'être emporté par le flux.

La méiofaune habitant dans les sédiments, dont font partie les Cladocères benthiques, est sous la menace constante d'être délogée de son habitat habituel durant les crues, et d'être emportée dans le courant principal. Durant les périodes de régime hydrologique stable, le passage de péniches ou de petits bateaux peut produire un effet similaire (Viroux, 2002).

En période d'étiage, c'est le comportement des espèces, leur rythme d'activité, qui est essentiellement à l'origine de leur entraînement. En période de crue, la violence du courant joue un rôle prépondérant, en entraînant un état d'instabilité du substrat. Les crues peuvent être régulières (hautes eaux d'hiver, fonte des neiges), ou apériodiques (orage d'été, vidange de retenue). Une crue brutale a sur la faune benthique ce qu'on pourrait appeler un effet de surprise, notamment sur l'onde de choc, qui se propage plus vite que la crue elle-même lors de l'écusée de retenue. Ceci se traduit par un accroissement temporaire de la dérive, qui diminue ensuite (Angelier, 2000a).

La vie pour le zooplancton crustacé sera différente en fonction de la taille de la rivière dans laquelle il évolue. En effet, les systèmes lotiques sont sujets à des perturbations périodiques qui peuvent réduire catastrophiquement l'abondance des populations (Robertson, 2000) mais l'intensité de ces perturbations sera différente s'il se trouve dans un ruisseau, une rivière ou un fleuve.

Le zooplancton dérivant venant des systèmes lentiques tend à être éliminé rapidement, spécialement dans les eaux turbulentes. Il est victime des filtreurs, des poissons et de l'abrasion physique. Dans quelques situations, c'est l'explication avancée pour justifier la faible survie du zooplancton pour établir des populations résidentes dans les environnements lotiques. Les systèmes lotiques qui abritent des populations de zooplancton résidentes sont habituellement de grandes rivières à écoulement lent, où le zooplancton comprend plusieurs espèces typiquement rencontrées dans des environnements lentiques. Ce zooplancton a trouvé son origine dans les zones de bras mort ou dans la dérive continue des eaux lentiques. Dans la littérature, le zooplancton est reconnu comme une source lotique benthique possible, mais les chercheurs supposent habituellement qu'il est mineur ou temporaire. Quelques études de rivières ont par ailleurs essayé de localiser les microcrustacés résidents (Shiozawa, 1986).

Une étude sur les communautés benthiques des rivières de premier ordre dans le Minnesota (Shiozawa, 1991) montre que les Chydoridae sont présents majoritairement. En effet, sur 19 espèces de Cladocères collectées, 13 étaient des Chydoridae parmi lesquels on retrouve *Chydorus sphaericus*, *Acroperus harpae*, *Pleuroxus denticulatus* BIRGE, 1879 et *Alona quadrangularis*. Les Macrothricidae sont quant à eux relativement rares, mais résidents dans les rivières. Quelques espèces planctoniques sont également présentes tel que *Bosmina longirostris* O. F. MÜLLER, 1785.

Une étude (Brown *et al.*, 1989) sur la rivière Illinois (Arkansas), a montré que la densité du zooplancton était la plus grande sur les sites des rivières de deuxième ordre. La tendance générale à la diminution de densité d'amont en aval avait déjà été rapportée par Kittle *et al.* (1979), ainsi qu'une relation inverse entre la densité du zooplancton et le débit à travers les zones calmes. Le déclin des densités du zooplancton dans les sites des rivières de 3<sup>ème</sup> et de 4<sup>ème</sup> ordres est attribué à l'augmentation du débit à travers les zones calmes et à la prédation par une communauté de poissons abondante et diverse. En effet, les poissons sont moins abondants dans les zones calmes des 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre parce que ceux-ci sont de volume plus petit et que ces cours d'eau deviennent intermittents à la fin de l'été. Le manque de grandes espèces de Copépodes et de Cladocères dans les rivières d'ordre 3 à 5 indiquerait un effet de la prédation des poissons. La régulation de la composition des espèces et de la taille du zooplancton par les poissons planctonophages a été clairement démontrée par des études antérieures. Cependant, cette étude a tendance à prendre peu en compte l'hydrodynamique de la rivière et à donner trop d'importance à la prédation car d'autres études montrent que les Cladocères sont bien présents dans les grandes rivières.

En effet, une étude sur différentes rivières, d'altitude et de plaine, en Grande-Bretagne a montré que la richesse spécifique est plus grande dans les rivières de plaine que dans les rivières d'altitude. On peut en déduire que l'augmentation du nombre d'espèces est due au fait que la disponibilité en habitats augmente, additionnée à l'influence des lacs situés en amont.

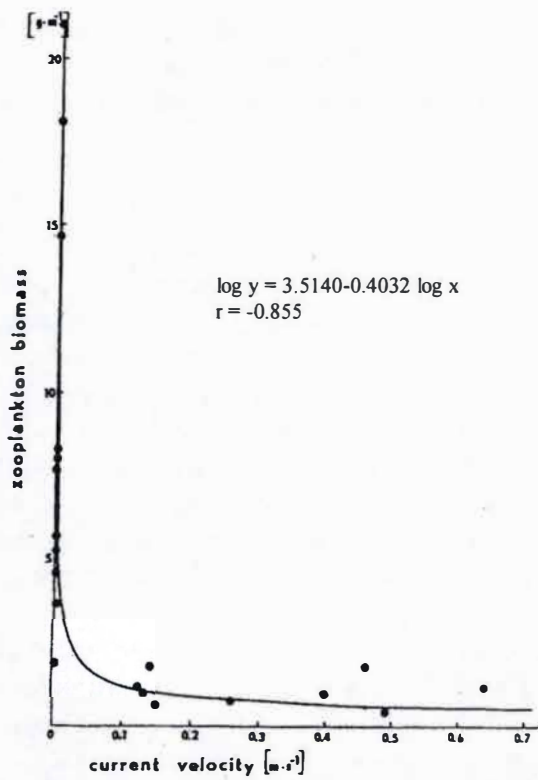


Figure 11 : Relation entre la vitesse du courant et la biomasse du zooplancton (d'après Vranovsky, 1995).



Par ailleurs, la présence de zones mortes où le courant est moins rapide peut fournir un habitat pour quelques espèces de Cladocères telles que *Alona guttata* SARS, 1862 et *Alona quadrangularis* qui sont associées avec les sites de rivières de plaine (Rundle & Ramsay, 1997).

Par ailleurs, on peut postuler que ce n'est pas une seule source unique localisée "en amont" qui apporte l'inoculum nécessaire à l'établissement des populations mais une série de sources, le long du cours d'eau, chacune apportant une fraction du zooplancton. Les lacs de sources, les bras de rivières et les habitats du chenal ont tous été proposés comme des sources potentielles de zooplancton, mais aucune évidence claire de recrutement véritablement autochtone, uniquement basée sur les œufs de résistance déposés dans les sédiments, n'a été présentée (Viroux, 1997).

Le nombre d'animaux benthiques emportés par le flux dépend principalement de trois facteurs : le nombre d'animaux par unité de surface sur le lit de la rivière ; l'effet de l'érosion du courant et le comportement des animaux (Sandlund, 1982). Les densités instantanées du zooplancton dans un segment d'eau donné sont dépendantes, quant à elles : (1) de la capacité des individus à maintenir leur position ; (2) des effets des mouvements de l'eau sur la reproduction et la nutrition ainsi que (3) du temps de croissance quand les conditions sont favorables pour la croissance de la population (Richardson, 1992). Par exemple, *Macrothrix hirsuticornis* NORMAN & BRADY, 1967 est habituellement sur le substrat mais à un moment donné, une partie de la population sera présente dans la colonne d'eau. De plus, certains Cladocères benthiques sont incapables de résister à des vitesses de plus de 3 cm/s. Le benthos est supposé contribuer considérablement à la biomasse dérivante dans un système de rivière. Des exceptions ont été trouvées pour les microcrustacés dérivant des réservoirs et des lacs (Shiozawa, 1986).

Une étude sur le Danube en Slovaquie, a montré la relation inverse significative entre la biomasse du zooplancton et la vitesse du courant (Figure 11). La dépendance n'avait pas un caractère linéaire mais exponentiel. En effet, la courbe de la relation indiquait un déclin soudain de la biomasse du zooplancton à des vitesses de courant très faible (1cm/s). Aux alentours de 5cm/s, le déclin ralentit et la courbe acquiert une chute très lente, plutôt horizontale. Cette évolution était maintenue jusqu'aux valeurs de vitesses maximales mesurées dans les bras investigués (Vranovsky, 1995).

#### **4.2 Données disponibles sur les Cladocères habitant les grandes rivières**

Nous pouvons observer que les Cladocères ne sont pas présents dans tous les environnements de la même façon. (Tableaux 3 et 4).

Une étude (Brown *et al.*, 1989) sur la rivière Illinois (Arkansas) a montré que la diversité des Cladocères était plus grande dans les zones de courant que dans les zones calmes. Par ailleurs, ils ont montré que durant les périodes de courant faible à modéré, le plancton pouvait éviter d'être entraîné et transporté vers le courant. L'évitement du courant peut jouer un rôle clé dans les capacités des espèces zooplanctoniques pour maintenir des populations dans les rivières.

Tableau 3	Bosminidae	Ceriodaphnia	Chydoridae	Daphnia	Diaphanosoma	Motna
<b>EUROPE</b>						
Danube						
Elbe						
Loire						
Marne						
Great Ouse						
Rhin						
Waal						
<b>Amérique du Nord</b>						
Columbia						
Hudson						
Mississippi						
Ohio						
<b>Amérique du sud</b>						
Apure						
Caura						
Orinoco						
Paraná						
Salado						
Santa-Fe						
<b>Afrique</b>						
Nil bleu						
Sokoto						
<b>Océanie (Australie)</b>						
Darling						
Hawkesbury						
Murray						
<b>Asie</b>						
Han						
Tigre						

Tableau 3 : Genres et familles de Cladocères rapportés comme dominants dans des grandes rivières du monde (d'après Viroux, 2002).

Tableau 4	Illinois <sup>1</sup>	Nil <sup>2</sup>	Paraná <sup>3</sup>	Danube <sup>4</sup>	Loire <sup>5</sup>
<i>Alona</i> sp. BAIRD, 1843					
<i>Alona affinis</i>					
<i>Alona davidi</i> RICHARD					
<i>Alona quadrangularis</i>					
<i>Alona rectangula</i>					
<i>Alonella</i> sp. SARS, 1862					
<i>Camptocercus</i> sp. BAIRD, 1843					
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> O. F. MÜLLER, 1785					
<i>Chydorus</i> sp.					
<i>Chydorus sphaericus</i>					
<i>Eurycercus</i> sp.					
<i>Grimaldina</i> sp. RICHARD, 1892					
<i>Iliocryptus</i> sp.					
<i>Iliocryptus agilis</i> KURZ, 1878					
<i>Iliocryptus sordidus</i>					
<i>Leydigia leydigi</i>					
<i>Leydigia acanthocercoides</i>					
<i>Macrothrix</i> sp.					
<i>Macrothrix hirsuticornis</i>					

Tableau 4 : Genres ou espèces de Cladocères principalement benthiques trouvées dans différentes grandes rivières. Sources venant de 1 : (Brown et al., 1989), 2 : (Monakov, 1969), 3 : (José De Paggi, 1981, José De Paggi, 1984), 4 : (Gulyas, 1994a), 5 : (Pourriot et al., 1982).

Par exemple, il a été montré que sur le Nil, les Cladocères sont surtout représentés par des espèces benthiques ou littorales, mais ils sont rencontrés de façon sporadique (Monakov, 1969).

Les Cladocères sont également abondants dans la Serra da Mantiqueira, dans des milieux aquatiques de taille plutôt réduite, de faible profondeur et fortement colonisées par les macrophytes, ce qui crée un substrat adéquat pour les Chydoridae (Santos-Wisniewski *et al.*, 2002).

Dans le Danube en Hongrie, quelques espèces de Cladocères benthiques ont également été recensées. Ils se retrouvent dans les végétaux, dans les zones couvertes de sédiments, boue ou détritus. Toutes ces espèces peuvent être originaires des affluents, des bras du fleuve, des secteurs à courant calme de la rivière ou des réservoirs situés en amont (Gulyás, 1994a).

Les Cladocères benthiques sont également bien représentés dans la Loire. En effet, lors d'un pic de début septembre 1978, les Cladocères atteignaient une densité de 35 individus/l, ce qui était essentiellement dû à une espèce benthique : *Leydigia acanthocercoides* FISCHER, 1854. Cependant le plus représenté des Cladocères planctoniques demeurait *Bosmina longirostris*, mais il ne dépassait jamais 2 individus/l (Pourriot *et al.*, 1982). Malheureusement, aucun suivi plus récent n'a été réalisé sur la Loire afin de voir une diversité identique existe toujours.

### 4.3 Les Cladocères dans la Meuse

Les Cladocères ont jusqu'à présent suscité peu d'intérêt dans ce fleuve. Damas signale dans un article de 1939 que *Bosmina longirostris* est le Cladocère le plus abondant. Le genre *Daphnia* est signalé aux Pays-Bas en 1975 (Viroux, 2000). D'autres études ont eu lieu sur la Meuse mais sans détailler les espèces présentes. A partir de 1997, Laurent Viroux lors de sa thèse a détaillé les Cladocères présents en Meuse jusqu'à l'espèce (Viroux, 2000). Dans les espèces planctoniques, le genre *Bosmina* BAIRD, 1846 était représenté par deux espèces et était le plus abondant. La famille des Daphniidae était représentée par une espèce du genre *Daphnia* et par *Scapholeberis mucronata*. Dans la famille des Moinidae, deux espèces du genre *Moina* ont été repérées en Meuse durant cette période. La dernière famille planctonique, les Sididae, était représentée par *Diaphanosoma brachyurum* LIEVIN, 1848. Les Cladocères benthiques ont également été observés. Les Chydoridae étaient représentés par une série d'espèces et genres parmi lesquels on retrouvait *Acroperus* sp. BAIRD, 1843, *Chydorus* sp. LEACH, 1816, *Disparalona rostrata*, *Eurycercus lamellatus*, *Graptoleberis testudinaria* et *Pleuroxus* sp. BAIRD, 1843. Les Macrothricidae pour leur part étaient représentés par *Iliocryptus sordidus*, *Macrothrix* sp. BAIRD, 1843, et probablement par *Acantholeberis curvirostris* O.F. MÜLLER, 1776. Ces espèces ont été échantillonnées dans la dérive à différents endroits sur la Meuse (Viroux, 2000).



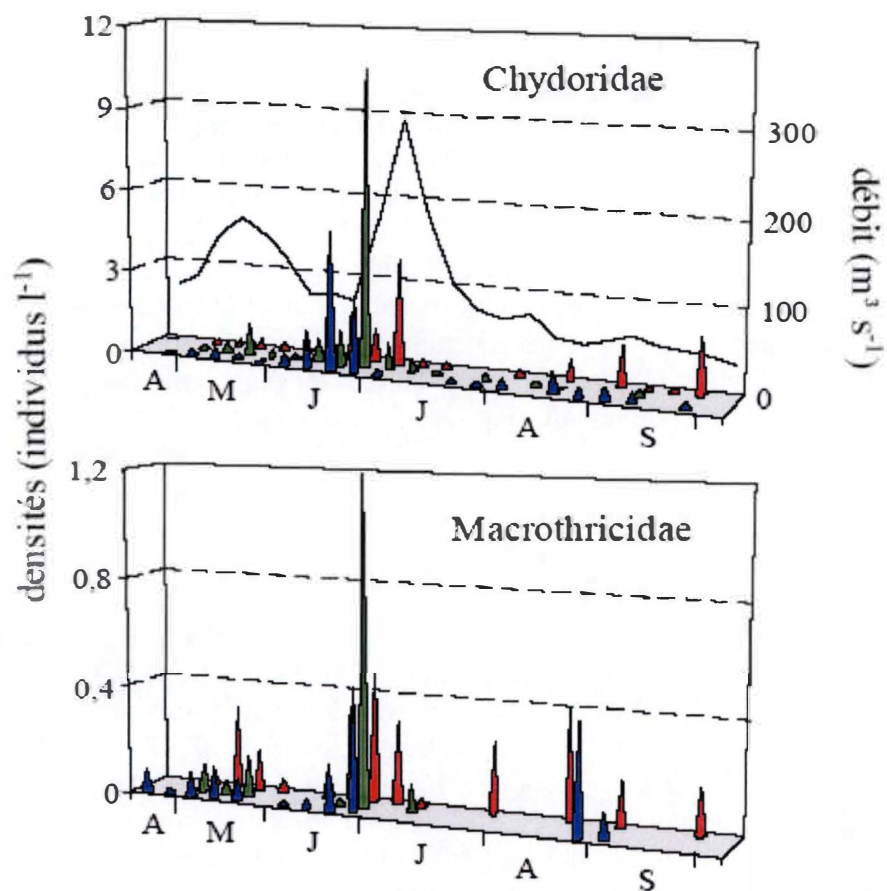


Figure 12 : Variations temporelles des densités en Chydoridae et Macrothricidae en trois stations le long du cours wallon de la Meuse en 1997 : Waulsort (bleu, avant-plan), Tailfer (vert, série intermédiaire) et Liège (rouge, arrière-plan) (d'après Viroux, 2000).

Lors de ses échantillonnages de 1997 et 1998, Viroux a pu remarquer une dépendance significative étroite entre le développement des populations de Cladocères planctoniques et l'observation de débits faibles. En effet, l'apparition des conditions d'étiage semblait seule conditionner ce développement, par l'allongement du temps de transfert de la masse d'eau (Viroux, 2000). Cependant, les genres *Bosmina* et *Daphnia* apparaissaient au printemps mais les pics pour les différentes familles planctoniques avaient tous lieu fin août début septembre, lors de la période d'étiage.

Durant les échantillonnages, des Cladocères planctoniques ont été trouvés à différents stades de développement. Ceci prouverait que les Cladocères planctoniques ont un cycle complet en Meuse (Viroux, 2002). En effet, de nombreuses *Moina* et *Diaphanosoma* gravides étaient collectées lors des pics d'abondance. De même que chez *Bosmina*, de nombreuses femelles collectées portaient un ou plusieurs œufs ainsi que des juvéniles (Viroux, 2000).

En ce qui concerne les Cladocères benthiques, leur densité dans la dérive est particulièrement importante en 1997 (Figure 12). Différentes hypothèses pourraient expliquer cette disparité. En effet, cette année-là, le barrage de Waulsort a connu des travaux de dragages, ce qui expliquerait leur remise en suspension avec le sédiment, de même que par une hausse du débit. Les Chydoridae et Macrothricidae sont surtout présents durant les mois de juin et juillet de cette année (Viroux, 2000).

## OBJECTIFS DU MEMOIRE

Au cours de ce travail, nous avons voulu mener une première étude des peuplements de Cladocères benthiques dans la Haute Meuse belge (secteur entre la frontière française et la confluence avec la Sambre à Namur).

Différentes approches ont été envisagées. Tout d'abord, une approche par des prélèvements dans la dérive sur un cycle annuel complet dans le secteur du fleuve en amont de Namur. Cette partie de l'étude a permis de suivre les variations temporelles des populations de Cladocères planctoniques et benthiques. Le contenu de cette étude nous a permis d'évaluer la richesse spécifique des Cladocères benthiques de la Meuse supérieure car la détermination a été réalisée jusqu'à l'espèce pour les Chydoridae et Macrothricidae.

Une deuxième approche a consisté en un suivi dans les sédiments. Cette partie de l'étude a permis de décrire la dynamique de population des espèces de Cladocères benthiques en un site précis de la Meuse supérieure.

Un troisième volet est réservé à l'étude en laboratoire de plusieurs populations de Cladocères benthiques. Cette dernière a permis de caractériser la dynamique de ces populations, à une température constante de 20°C, qui est la température moyenne *in situ* durant la période de développement. Nous avons pu ainsi étudier l'effet de la quantité de nourriture sur le taux de croissance, la fécondité et la stratégie démographique.

En combinant ces trois approches complémentaires, nous espérons obtenir une première information sur la diversité et la phénologie de ces organismes et sur leurs capacités d'accroissement en conditions aussi proches que possible de celles observées *in situ*.



**MATERIEL**

**ET**

**METHODES**

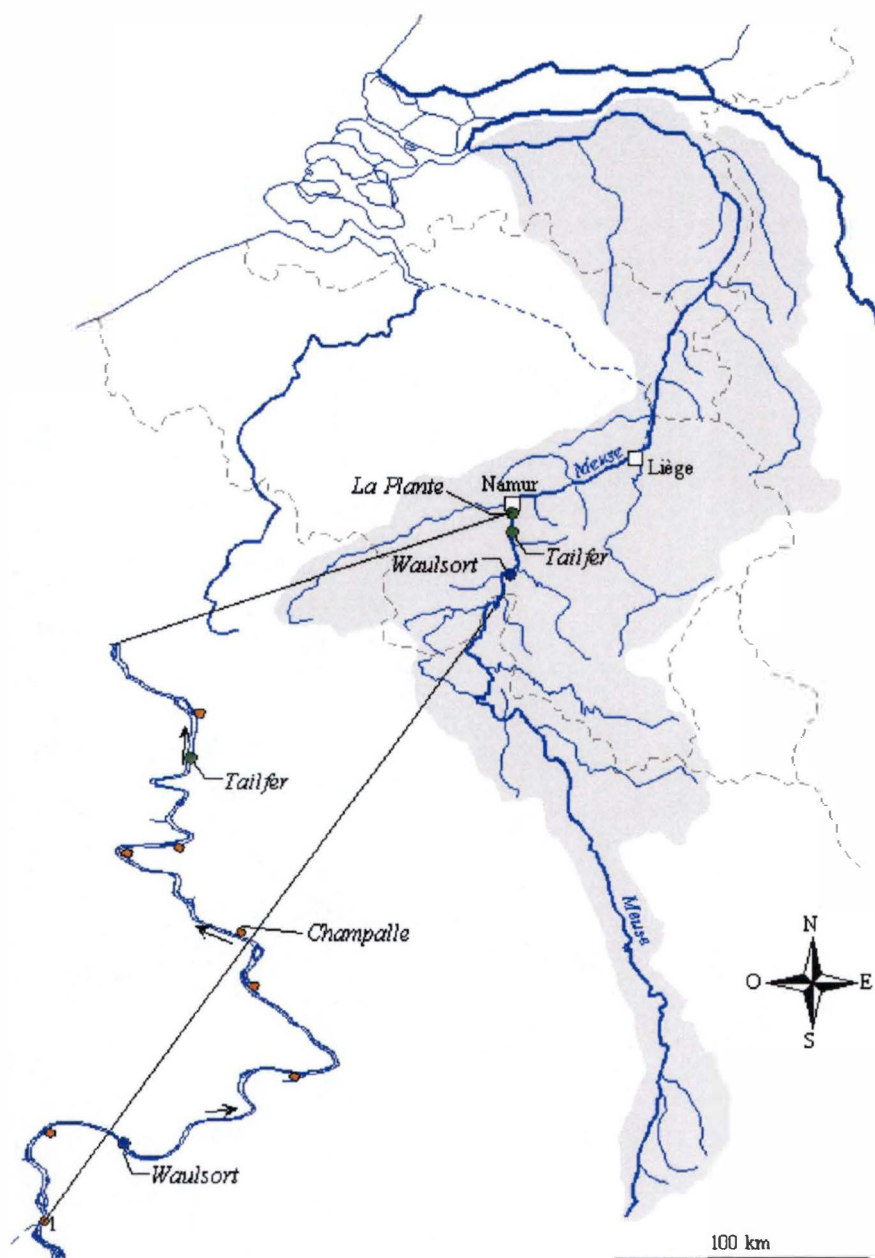


Figure 1 : Carte du bassin de la Meuse indiquant les stations de prélèvements (Tailfer et Champalle).

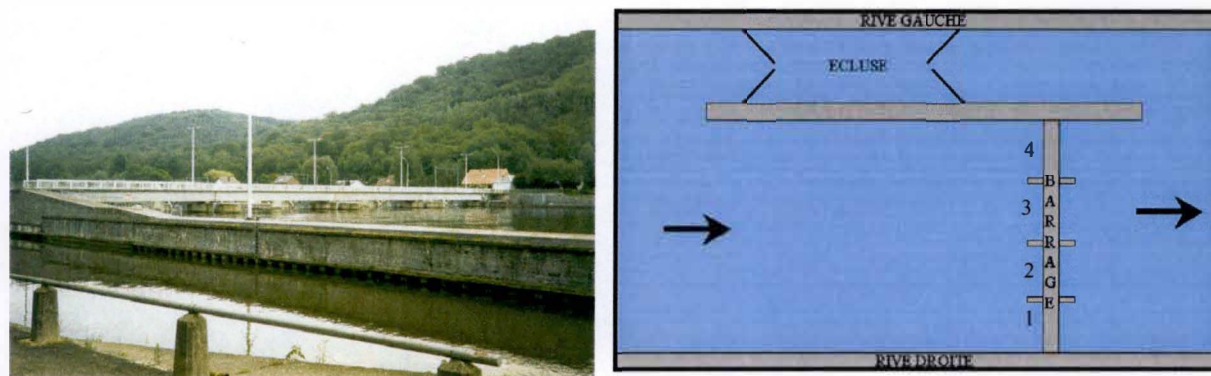


Figure 2 : Photographie du barrage de Tailfer (photo : L. Viroux) et Schéma du barrage.

# MATERIEL ET METHODES

## 1 Etude des Cladocères présents dans la dérivation

### 1.1 Choix du site

La Meuse est le site sur lequel se feront les différentes études. Celle-ci est un fleuve international, prenant sa source à Pouilly en Bassigny, en France, et se jetant dans le delta du Rhin aux Pays-Bas après avoir parcouru environ 900 km et traversé la Belgique (Figure 1). Le fleuve draine un bassin versant de 36011 km<sup>2</sup> de superficie dont près de 40% sont en territoire belge, les 60% restants sont répartis entre la France, le Grand-Duché du Luxembourg, l'Allemagne et les Pays-Bas (Viroux, 2000).

Le site choisi afin de réaliser les prélèvements en eau libre sur la Meuse est l'écluse de Tailfer, du côté de la rive droite (Figure 2). Tailfer se situe au kilomètre 521 de la Meuse, à partir de la source. Le site, situé en amont de la ville de Namur, n'est pas soumis à une pollution importante par des rejets domestiques. Nous avons échantillonné sous les arches situées du côté de la rive droite (N°1 & 2) : car celles situées en rive gauche étaient soit endommagées (N°3), soit relevées en permanence (N°4) suite à la faiblesse du débit.

### 1.2 Techniques de terrain

Pour les prélèvements des populations dérivant dans la colonne d'eau, nous avons utilisé une trappe de Schindler.

L'avantage de la trappe est qu'elle permet de collecter de grands volumes. Par ailleurs, le prélèvement et la filtration se font en une seule étape. Ses inconvénients sont : le manque de maniabilité si les volumes sont trop élevés ainsi que sa fragilité due à la légèreté de sa conception.

La trappe se présente sous la forme d'un parallélépipède en plexiglas qui peut être fixé à une corde ou à un treuil. Le plancher et le toit basculent librement autour d'un axe, soit sous l'action de la pression de l'eau au moment de la plongée, soit sous l'action de la traction exercée sur la corde une fois la profondeur voulue atteinte. La face avant est percée d'un trou de grand diamètre s'ouvrant sur un tube latéral en plexiglas destiné à la fixation du dispositif filtrant.

Celui-ci prend la forme d'un manchon de nylon long d'une trentaine de cm. Ce manchon est solidement fixé au moyen d'un collier de serrage métallique à l'unité filtrante en PVC, et solidarisé à la trappe par un autre collier de serrage métallique. Cette unité filtrante est composée d'un cylindre court muni d'une fenêtre latérale où un filtre en nylon est placé, pour éliminer l'eau présente en excès tout en retenant les organismes.

Une traction légère sur la corde referme par action-réaction les cloisons inférieure et supérieure de la trappe, forçant le passage de l'eau à travers l'orifice latéral, le manchon, et finalement le filtre.



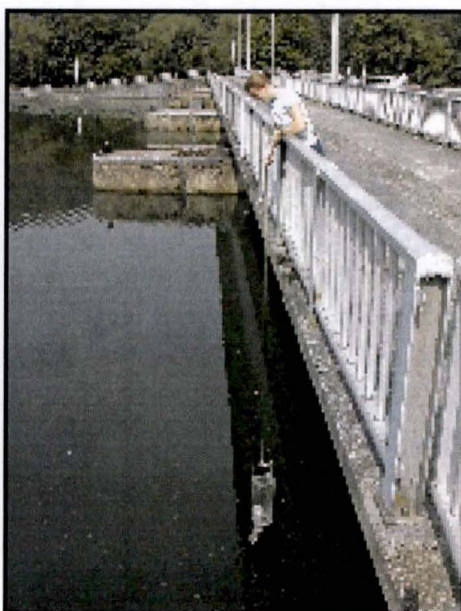
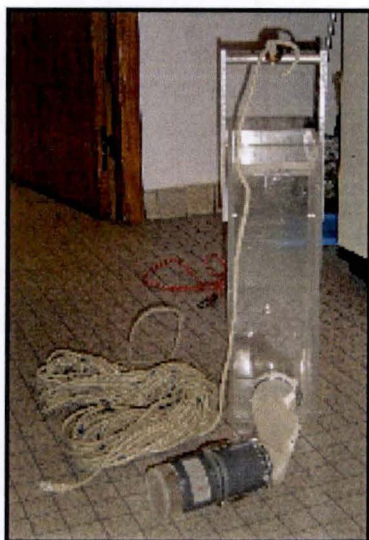


Figure 3 : Illustrations de : a. La trappe de Schindler (photo : J. Lemaire) ; b. Echantillonnage à Tailfer avec la trappe de Schindler (photo : L. Viroux).

L'utilisation du filet à plancton de 80  $\mu\text{m}$  de vide de maille pour la confection du manchon se justifie pour éliminer rapidement la plus grosse partie de l'eau, complétant ainsi la filtration. Une fois la trappe remontée à la surface, le manchon est soigneusement rincé au moyen d'un peu d'eau de Meuse.

Entre chaque plongeon successif, le temps nécessaire à la vidange complète de la trappe est bien entendu respecté avant de la plonger une nouvelle fois. Chaque nouveau plongeon s'opère le plus délicatement possible, pour éviter la remise en suspension du matériel déjà retenu par le filtre, afin d'éviter une perte partielle de ce matériel. Cette précaution, combinée à la longueur du manchon, contribue à limiter au maximum ce phénomène. Le plongeon répété se justifiait par la nécessité d'opérer rapidement et d'alléger la procédure de collecte (Figure 3).

Lors de chaque échantillonnage, 5 contenus étaient prélevés par volées sous chacune des deux arches situées rive droite, avec remontée partielle de la trappe lors du passage au-dessus d'un pallier, et l'opération se concluait par un rinçage. Nous recommençons l'échantillonnage une deuxième fois pour obtenir un volume total de 200 l.

Une fois les échantillons placés dans un récipient de 250 ml, une quantité de formol 35% adaptée était ajoutée, de manière à obtenir une concentration finale de  $\pm 4\%$ .

Suite à un problème avec la trappe, nous n'avons prélevé qu'un volume de 60 litres à partir du 10 septembre et ce jusqu'au 7 octobre 2003.

Nous avons réalisé les échantillonnages à partir de juillet 2003 et ce jusqu'en juin 2004. Durant les mois de juillet à septembre et d'avril à juin, nous avons échantillonné toutes les semaines. La périodicité a été réduite à deux échantillonnages par mois en octobre, novembre et mars, et à un échantillonnage par mois de décembre à février.

### **1.3 Conditionnement des échantillons**

De retour au laboratoire, les échantillons prélevés dans la colonne d'eau subissaient une décantation. Cette méthode est conseillée pour limiter les pertes que pourrait occasionner une seconde filtration. Elle présente toutefois un désavantage lié à sa lenteur, car on considère un temps de sédimentation de 2 h par cm de hauteur de colonne d'eau.

Pour cette procédure, les échantillons bruts ont été décantés dans de hautes (40 cm) colonnes de plexiglas d'un diamètre intérieur de 3-4 cm, et d'une capacité de 250 ml. Une quantité équivalente d'eau de Meuse filtrée et formolée à 4 % était additionnée de manière à entamer la fixation à long terme.

Le surnageant excédentaire était éliminé par siphonnage au bout d'une semaine. Une fois le maximum de surnageant éliminé, le culot résultant était resuspendu et délicatement versé dans un flacon en PVC de 100 ml. Du formol 4% était rajouté et les échantillons étaient conservés au frigo à 4°C jusqu'au comptage.





Figure 4 : Photographie d'une portion du site de Champalle (photo : L. Viroux).



Figure 5 : Photographies de : a. Echantillonnage avec le troubleau sur des pierres; b. Echantillonnage avec le troubleau dans le gravier; c-d. Echantillonnage avec grappin dans les sédiments fins.(photos : L. Viroux)



## 1.4 Examens microscopiques

Pour chaque échantillon, la totalité des organismes prélevés ont été recensés. Lors de ces comptages, la détermination des Cladocères se faisait jusqu'à la famille pour les Daphniidae, Bosminidae, Sididae et Moinidae, et jusqu'à l'espèce pour les Chydoridae et les Macrothricidae qui sont les deux familles qui nous intéressent. L'identification des Cladocères benthiques a été réalisée à partir de la clé d'AMOROS (1984).

L'ensemble des comptages a eu lieu sous binoculaire NIKON (grossissement 35 x). Les échantillons étaient déposés dans une petite boîte de Pétri dont le plancher avait été quadrillé, au moyen d'une aiguille montée, de fins sillons délimitant un grillage de 5 mm, permettant de guider l'observation. La détermination des différentes espèces de Chydoridae et Macrothricidae a été réalisée sous microscope inversé LEICA modèle DMIL, supportant un grossissement maximal de 200 x.

## 2 Les prélèvements dans les sédiments

### 2.1 Choix du site

Pour réaliser les prélèvements de sédiments supposés héberger des populations résidentes à la Meuse, nous avons opté pour un site en amont de Namur du côté de la rive droite. En effet, la berge de la rive gauche est empierrée ou bétonnée de la frontière française à Namur pour soutenir la route. Nous avons retenu le site de Champalle pour différents critères. Le repérage des lieux a été réalisé fin mars, et à partir de la mi-avril, nous sommes allés échantillonner sur ce site de façon hebdomadaire et ce jusqu'à la fin juin.

Le site de Champalle (Figure 4) se localise dans le bief de Houx (kilomètre 507) au niveau de l'aire de repos en aval du pont de chemin de fer (Poilvache). Les berges sont formées de plages de gravier en pente douce colonisées par des végétations d'hydrophytes et d'hélophytes. De plus, par endroits, des dépôts de dragage laissent des traces sous forme d'enrochements de tous calibres. Par ailleurs, à l'exception des zones colonisées par des arbres et arbustes, un ensoleillement important des berges s'observe tout au long de la journée (Blanchard, 1997).

### 2.2 Techniques de terrain

Pour les prélèvements de sédiments, deux techniques ont été utilisées. Nous avons utilisé un grappin Hydro-Bios et un filet troubleau (Figure 5), en fonction du substrat. Le filet troubleau a été employé pour prélever des sédiments dans les racines de macrophytes présentes sur le rivage, ainsi qu'à la surface des pierres immergées, et dans le sédiment grossier. Le grappin quant à lui était utilisé dans les zones de sédiments fins.

Différents types de grappins ont été développés pour des échantillonnages quantitatifs des sédiments fins. Leur fonction est d'enfermer une zone d'une surface déterminée avec les parois de l'échantillonneur. Les "mâchoires" se ferment sous les sédiments grâce à l'action d'un messenger. Ensuite, le grappin est remonté à la surface, les mâchoires sont réouvertes et l'échantillon est récupéré. Pour la boue, le grappin est l'instrument le plus pratique, mais il l'est moins dans les substrats plus solides tel que le sable ou le gravier fin (Maitland, 1990).

Le troubleau est constitué d'un cadre métallique de 20 x 20 cm sur lequel est fixé un filet de maillage de 1 mm. Le troubleau était traîné sur une longueur de  $\pm 1$  m sur les différents substrats. Après chaque passage, le contenu était vidé dans un seau de 15 litres muni d'un couvercle et le filet rincé à l'eau de Meuse pour récupérer un maximum d'organismes.

La totalité des prélèvements était rassemblée dans un grand seau afin d'être ramené au labo et d'y être conditionné.

### **2.3 Conditionnement des échantillons**

De retour au laboratoire, le seau est placé dans la chambre froide à 4°C et le contenu laissé à décanter jusqu'au lendemain.

Le lendemain, le surnageant est tout d'abord éliminé au moyen d'un siphon. Il est toutefois dévidé sur un filtre de 100  $\mu$ m de vide de maille. Les particules retenues sur le filtre sont soigneusement récoltées, et resuspendues dans une fiole. Cette fiole est placée au frigo jusqu'à l'examen microscopique. Les sédiments, quant à eux, sont filtrés en petites quantités à travers plusieurs filtres, respectivement de 1 mm, 330  $\mu$ m et 100  $\mu$ m. Les particules retenues sur les deux derniers filtres sont soigneusement récupérées et resuspendues dans différentes fioles. Celles-ci sont placées au frigo jusqu'à l'examen microscopique. Les particules (gros gravier, feuilles,...) stoppées par le premier filtre ne sont pas conservées. L'eau contenant les particules de calibre inférieur à 100  $\mu$ m est par ailleurs récupérée pour nourrir les Chydoridae et les Macrothricidae élevés en laboratoire (voir plus loin).

### **2.4 Examen des populations**

L'examen du contenu des différentes fioles, que se soit le surnageant ou les sédiments, est réalisé par observation au binoculaire NIKON. Les échantillons du surnageant sont examinés dans leur totalité. Par contre, les échantillons de sédiments sont remis en suspension, et la totalité de la phase liquide est examinée sous binoculaire. Les différentes catégories d'organismes vivants présents dans les différentes fioles sont notées. Seuls les Cladocères sont en plus dénombrés.

## **3 Etude in-vitro de la dynamique de population chez plusieurs espèces**

### **3.1 Origine des différentes communautés**

Les populations élevées au laboratoire viennent toutes de la Meuse supérieure. La population de *Macrothrix hirsuticornis* a été obtenue à partir des 7 femelles récoltées le 30 mars sur le site de Champalle.

Chaque population d'*Alona rectangula*, *Alona quadrangularis* et *Chydorus sphaericus* a été obtenue à partir d'un individu respectivement. Ceux-ci ont été prélevés lors d'échantillonnages supplémentaires de matériel non fixé, réalisés en eau libre à Tailfer le 14 avril.

La population de *Disparalona rostrata* a été obtenue à partir d'un individu récolté dans les sédiments le 27 mai sur le site de Champalle.

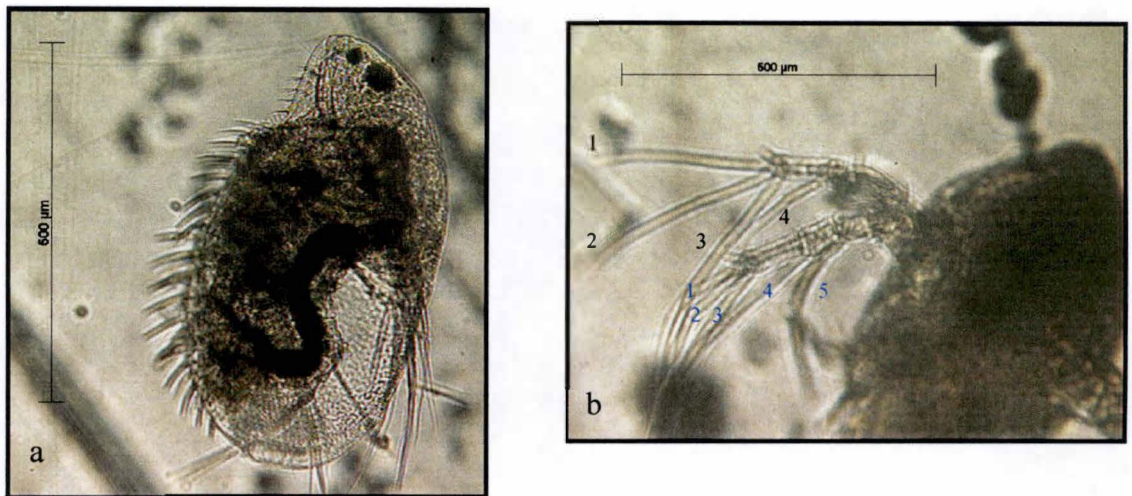


Figure 6 : *Macrothrix hirsuticornis*. a : vue générale d'un individu. b : détail des antennes et des soies (photos : auteur)

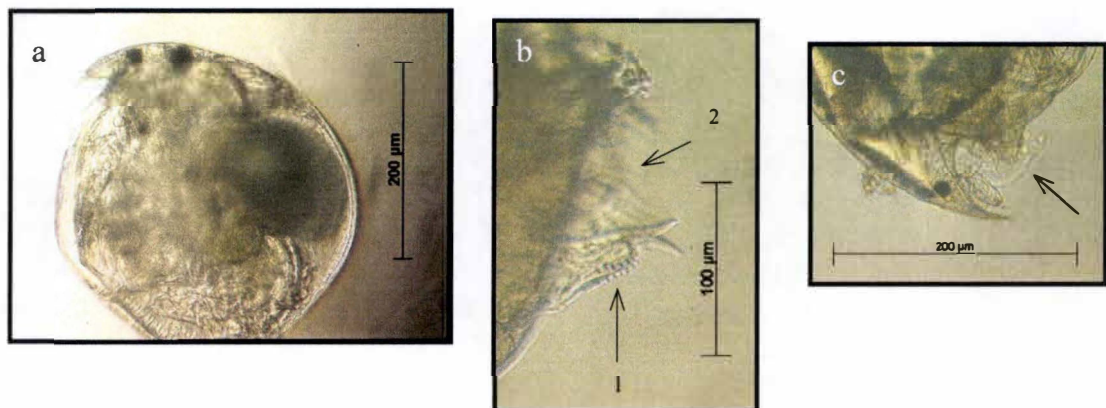


Figure 7 : *Chydorus sphaericus*. a. femelle avec deux œufs ; b. détail de la griffe (1) et des pattes thoraciques (2); c. détail du labre pointu (photos : auteur)



### 3.2 Présentation des espèces

Les cinq espèces élevées au laboratoire sont *Macrothrix hirsuticornis*, *Chydorus sphaericus*, *Alona quadrangularis*, *Alona rectangula* et *Disparalona rostrata*. Les quelques données sur la biologie de ces espèces sont extraites d'Amoros (1984).

#### 3.2.1 Les espèces principales

*Macrothrix hirsuticornis* (Figure 6) représente ici la famille des Macrothricidae. Le genre *Macrothrix* est caractérisé par une griffe distale du post-abdomen très courte. Les antennes sont munies de 4 soies natatoires sur l'exopodite et 5 soies natatoires sur l'endopodite. De plus, le bord postérieur libre des valves ne porte pas de soies barbulées.

*Macrothrix hirsuticornis* est déterminée par des antennules formées d'un seul article rectiligne. Elles sont élargies vers leur extrémité et garnies latéralement de touffes de longues soies. Le post-abdomen est trapu et légèrement aminci vers son extrémité qui paraît arrondie. Les femelles mesurent entre 0,5 et 2 mm.

*Macrothrix hirsuticornis* habite dans des biotopes de petites dimensions tel que de petits étangs, mares, fossés, tourbières, rizières. C'est une espèce benthique, psychrophile<sup>5</sup> et sporadique.

Lors de nos expériences en laboratoire, nous avons également isolé et élevé trois espèces de Chydoridae. Ces espèces sont *Chydorus sphaericus*, *Alona quadrangularis*, *Alona rectangula* et *Disparalona rostrata*.

Les espèces du genre *Chydorus* sont caractérisées par un corps globuleux, plus ou moins sphérique. Le bord postérieur de la carapace est faiblement tronqué. Leur post-abdomen est court et relativement large.

*Chydorus sphaericus* (Figure 7) est caractérisée par un post-abdomen comportant 7 à 10 épines anales dont certaines sont dédoublées. Le labre se termine par une pointe bien marquée. Les antennes sont munies de 7 soies. Les femelles mesurent entre 0,3 mm et 0,5 mm.

*Chydorus sphaericus* est une espèce cosmopolite très largement répandue. Il se retrouve dans les lacs oligotrophes mais aussi dans les petites mares eutrophes ainsi que dans les eaux temporaires. Cette espèce supporte également les pollutions organiques. *C. sphaericus* fréquente les fonds sableux des zones littorales mais également les herbiers et parfois les eaux libres. Il se nourrit principalement de particules fines tel que les débris fortement décomposés, des bactéries et quelque-fois des algues.

Deux espèces du genre *Alona* ont été étudiées en laboratoire, l'une faisant partie des espèces principales et l'autre des espèces secondaires. Le genre *Alona* est caractérisé par un corps comprimé latéralement. L'ocelle est plus petit que l'œil composé. Par ailleurs, la longueur du bord postérieur libre des valves est nettement plus grande que la moitié de la hauteur totale des valves.

<sup>5</sup> Psychrophile : espèce aimant les eaux froides.

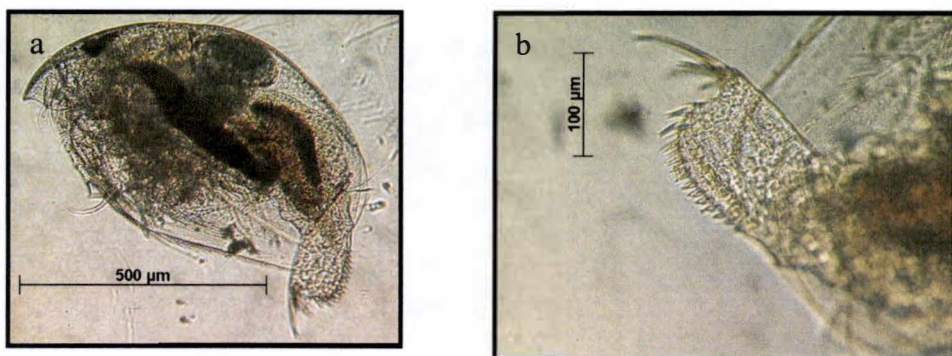


Figure 8 : *Alona quadrangularis*. a. vue générale d'un individu ; b. détail de la griffe et des épines anales (photos : auteur)

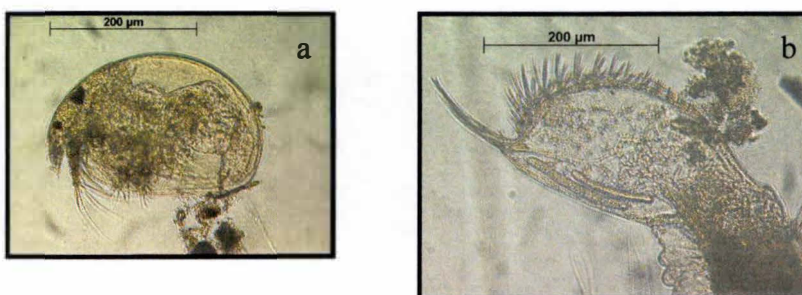


Figure 9 : *Alona rectangularis* : a. vue générale du corps ; b. détail de la griffe (photos : auteur)

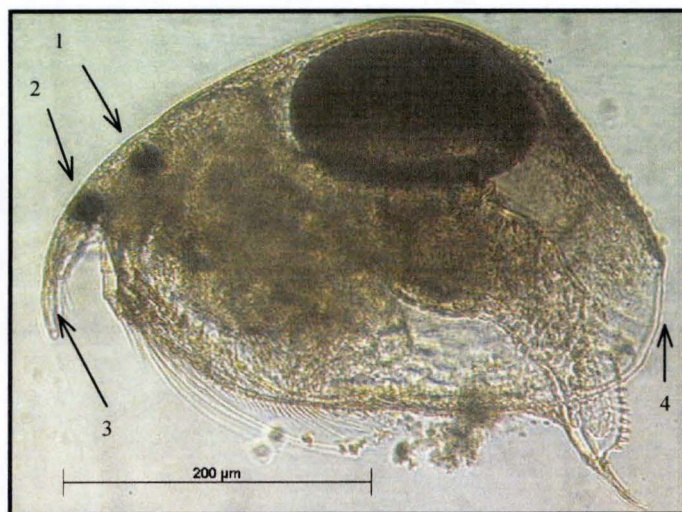


Figure 10 : *Disparalona rostrata* : 1 : œil , 2 : ocelle, 3 : rostre pointu, 4 : bord libre des valves curviligne (photo : auteur).



*Alona quadrangularis* (Figure 8) a un post-abdomen bien développé, élargi dans sa partie médio-postérieure. Il possède 14 à 19 épines anales sur le bord dorsal du post-abdomen et autant de groupes de soies latérales répartis sur toute sa longueur. La hauteur maximale des valves se situe dans la région postérieure du corps. Les femelles mesurent entre 0,5 et 0,7 mm.

*Alona quadrangularis* est une espèce assez commune qui se développe dans des biotopes divers aux eaux chargées en détritux organiques tel que des zones littorales de lacs, étangs, marais, bras-morts et zones calmes de cours d'eau. Elle vit parfois dans des tourbières ou dans des eaux temporaires. Cette espèce se déplace par reptation sur la vase ou à proximité du fond parmi les macrophytes immergées.

### 3.2.2 Les espèces secondaires

*Alona rectangularis* (Figure 9) est caractérisée par un post-abdomen court à bords dorsal et ventral presque parallèle. Son extrémité est arrondie mais non proéminente. 7 à 10 épines anales parfois groupées, et autant de groupes de soies latérales, se situent entre la griffe et l'anus. Chaque valve comporte moins de 30 stries longitudinales. La femelle mesure entre 0,25 et 0,50 mm.

*Alona rectangularis* vit dans des biotopes divers aux eaux chargées en détritux organiques tels que des zones littorales de lacs, étangs, marais et eaux temporaires. Elle est très rare dans les eaux acides et elle vit surtout dans les herbiers d'hydrophytes. C'est également une espèce d'eaux modérément chaudes. Elle est assez commune.

*Disparalona rostrata* (Figure 10) est caractérisée par un corps comprimé latéralement. Son ocelle est presque aussi grand que l'œil composé. Le bord postérieur libre des valves est curviligne, son rostre est long et pointu. Les femelles mesurent de 0,4 à 0,7 mm.

*Disparalona rostrata* est une espèce commune vivant surtout dans les zones littorales de biotopes de grandes dimensions (lacs, étangs). C'est une espèce benthique qui vit sur les fonds vaseux et les couches de détritux accumulés sur sols sableux. Elle se nourrit par filtration des particules en suspension à la surface des sédiments.

## 3.3 Tests préliminaires aux expériences

Durant les expériences en laboratoire, nous avons utilisé différentes sources de nourriture : des détritux, des détritux stériles et des détritux desséchés.

### 3.3.1 Comparaison détritux stériles et non-stériles

La nourriture administrée initialement pour l'établissement des populations était constituée de détritux non stériles. Les détritux sont, pour rappel, obtenus à partir des particules passées à travers les trois filtres utilisés lors de la filtration des sédiments. Ces détritux fins étaient concentrés dans des bouteilles d'un litre et conservées dans la chambre de culture à 20°C afin d'être à température ambiante pour les Cladocères.



Nous avons remarqué que si nous gardions la nourriture à 20°C, au bout de quelques jours, des Copépodes, *Chironomidae* et d'autres prédateurs potentiels apparaissaient, de même que les rotifères, ciliés, etc. en nombre important et ils pouvaient nuire aux Cladocères (prédation, compétition pour les ressources, parasitisme). Nous avons dès lors recouru à la stérilisation.

L'origine de ces détritits était la même que ceux utilisés auparavant, mais ils subissaient en préalable une stérilisation de 30 min à 1 bar. Les détritits stériles étaient également conservés dans la chambre à 20°C.

Pour nous assurer que les Cladocères toléraient les détritits stériles, nous avons réalisé une expérience comparative. Cette expérience avait pour but de déterminer si les espèces avaient une croissance plus ou moins importante lorsque nous leur administrons des détritits non stériles ou stériles. La stérilisation présente l'avantage de détruire la contamination potentielle (œufs dormants de copépodes, prédateurs) mais son désavantage est de détruire les bactéries qui pourraient être consommées vivantes par les Cladocères.

Pour pouvoir comparer l'évolution des populations par rapport à des nourritures différentes, nous devons administrer une même quantité de nourriture. Pour cela, nous avons évalué l'équivalence des doses visuellement, par mesure de la turbidité de suspensions.

Lors de cette expérience, deux boîtes de Pétri ont été utilisées. Dans la première, 10 ml de détritits non stériles ont été déposés et dans la deuxième, 10 ml de détritits stériles. Cinq nouveau-nés de *Macrothrix hirsuticornis* ont été placés dans chacune d'elle. La nourriture dans les boîtes était renouvelée tous les vendredi.

Les boîtes étaient examinées tous les lundi, mercredi et vendredi jusqu'au déclin des populations. Le nombre d'individus totaux était dénombré, ainsi que le nombre d'individus sans œufs, comprenant les juvéniles et les adultes non gravides, le nombre d'individus avec 1, 2 ou 3 œufs. Le taux de croissance journalier était également calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Taux de croissance} = (\ln N_x - \ln N_{x-1}) / (t_x - t_{x-1})$$

Où  $t_x$  = jour du comptage

$t_{x-1}$  = jour du comptage précédent

$N_x$  = Nombre d'individus vivants le jour du comptage

$N_{x-1}$  = Nombre d'individus vivants le jour du comptage précédent

Par la suite, la même expérience a été réalisée avec *Chydorus sphaericus*. De nouveau, dans chacune des boîtes, 5 individus vieux de moins d'une semaine ont été placés. Dix ml de détritits non stériles dans la première boîte et 10 ml de détritits stériles dans la deuxième, ont été déposés.

Comme dans l'expérience précédente, le nombre total d'individus était dénombré tous les lundi, mercredi et vendredi de même que le nombre de femelles non gravides et celles avec deux œufs. Le taux de croissance journalier était également calculé. Les milieux et les boîtes étaient renouvelés tous les vendredis. L'expérience a eu lieu jusqu'à ce que le taux de croissance soit nul, ou négatif.

3.3.2 Confection des détritits desséchés

Afin de pouvoir contrôler les quantités de matière organique administrées aux organismes, nous avons finalement choisi d'utiliser du sédiment fin préalablement soumis à la dessiccation. Pour cela, le sédiment a été placé en étuve pendant 4 jours à 80°C. Nous avons ensuite, à l'aide d'un mortier et d'un pilon, réduit ce sédiment très sec en une fine poudre. A partir de cette dernière, nous avons mesuré le carbone et l'azote organique présent dans la boue traitée à l'acide chlorhydrique et séchée plusieurs jours à l'étuve. L'analyse a été réalisée à l'aide d'un analyseur élémentaire CARLO ERBA NA 1500, calibré à l'aide de standards d'acétanilide (voir droite d'étalonnage en annexe 1). A partir des masses de détritits connues, nous avons pu calculer les concentrations en carbone et azote des détritits, à partir des formules suivantes :

$$\mu\text{g C}/\mu\text{g détritits} = A/(p*\mu\text{g détritits})$$

$$\mu\text{g N}/\mu\text{g détritits} = A/(p*\mu\text{g détritits})$$

où A = aire ou signal proportionnel à la concentration des composants individuels du mélange.

p = pente obtenue à partir de la droite d'étalonnage

La concentration moyenne en carbone organique dans nos stocks de sédiments desséchés était de 0,02828  $\mu\text{g C}_{\text{org}}/\mu\text{g boue}$ . Notons au passage que ce carbone organique représente le carbone potentiellement consommable par les Cladocères, et que sa fraction réellement assimilable est inconnue.

3.4 Expériences proprement dites

3.4.1 Expérience 1 : effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la reproduction chez *Macrothrix hirsuticornis*.

A partir du moment où nous avons eu confirmation que *Macrothrix hirsuticornis* supportait les détritits stériles, nous avons entrepris d'étudier la planification de la reproduction chez cette espèce en fonction de la quantité de nourriture mise à sa disposition. Pour cela, nous avons utilisé les détritits desséchés dont nous connaissions la concentration en carbone organique. Le carbone total représente le carbone minéral et organique. Dans le carbone organique, qui est la fraction qui nous intéresse, seule une portion est assimilable par les Cladocères. Nous avons confectionné les rations journalières suivantes :

Code	Ration journalière	
	$\mu\text{g C}_{\text{tot}}/\text{ind}$	$\mu\text{g C}_{\text{org}}/\text{ind}$
A	375,00	211,01
B	300,00	168,81
C	225,00	126,61
D	150,00	84,40
E	112,50	63,30
F	75,00	42,20

Lors de cette expérience, des triplicats ont été réalisés pour chaque ration journalière à 20°C et à 15°C. Le premier jour de l'expérience, un nouveau-né de *Macrothrix hirsuticornis* ayant moins de 24h a été placé dans chacune des boîtes de Pétri. Dans chacune des boîtes, une certaine "ration" journalière est administrée. La ration journalière correspondait à la dilution d'une certaine concentration de boue dans un volume de 1,5 ml par individu par jour était déposé. Les boîtes étaient examinées tous les deux jours, et les milieux étaient renouvelés, tout en conservant la "ration" constante. A ce moment, chaque individu était examiné. Son stade (juvénile, avec ou sans œufs) était déterminé. Si des nouveau-nés étaient présents, ils étaient dénombrés et retirés.

Nous avons calculé la durée de vie moyenne des individus aux différentes concentrations, le nombre de couvées moyennes, portées ou non à terme, de même que le nombre de nouveau-nés obtenus. L'expérience a été conduite en parallèle à 20°C dans la chambre de culture, et à 15°C dans un incubateur plus petit (Liebherr modèle Profil line).

#### 3.4.2 Expérience 2 : effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez *Macrothrix hirsuticornis*, *Alona quadrangularis* et *Chydorus sphaericus* élevés en groupe

En utilisant les mêmes concentrations que précédemment, un suivi de petites populations de 5 individus a été réalisé pour différentes espèces : *Macrothrix hirsuticornis*, *Chydorus sphaericus* et *Alona quadrangularis*. Au début de l'expérience, 5 individus au même stade de développement étaient placés dans des boîtes de Pétri. Pour *Macrothrix hirsuticornis*, nous avons pris des juvéniles pour les 4 rations les plus grandes et des adultes sans couvées pour les deux plus faibles rations. Tous les deux jours, le nombre d'individus présents était dénombré. Un maximum de la population a dû être fixé à 15 individus. Lorsque plus de 15 individus étaient présents, 15 individus pris aléatoirement étaient remis en expérience pour garder au maximum une population représentative. La ration journalière suivait le nombre d'individus présents dans la boîte. Le taux de croissance journalier était calculé par rapport à la population réelle, si tous les individus étaient restés en expérience.

Pour *Macrothrix hirsuticornis*, l'expérience a été réalisée à 20°C pour les différentes concentrations. Un duplicat a été réalisé seulement pour la ration la plus importante. A 15°C, nous avons seulement réalisé un suivi de population pour la ration la plus forte, en duplicat. Le nombre d'organismes en stock était trop limité pour compléter l'expérience, et un choix a dû être opéré pour privilégier les situations les plus susceptibles de produire une croissance mesurable.

Nous avons mené une partie de cette expérience également avec *Chydorus sphaericus* et *Alona quadrangularis*, avec un suivi des populations pour les deux rations les plus élevées. Pour *Chydorus sphaericus*, nous avons réalisé un duplicat pour la ration la plus faible et pour *Alona quadrangularis*, un duplicat pour la ration la plus élevée.



**RESULTATS**

**ET**

**DISCUSSION**

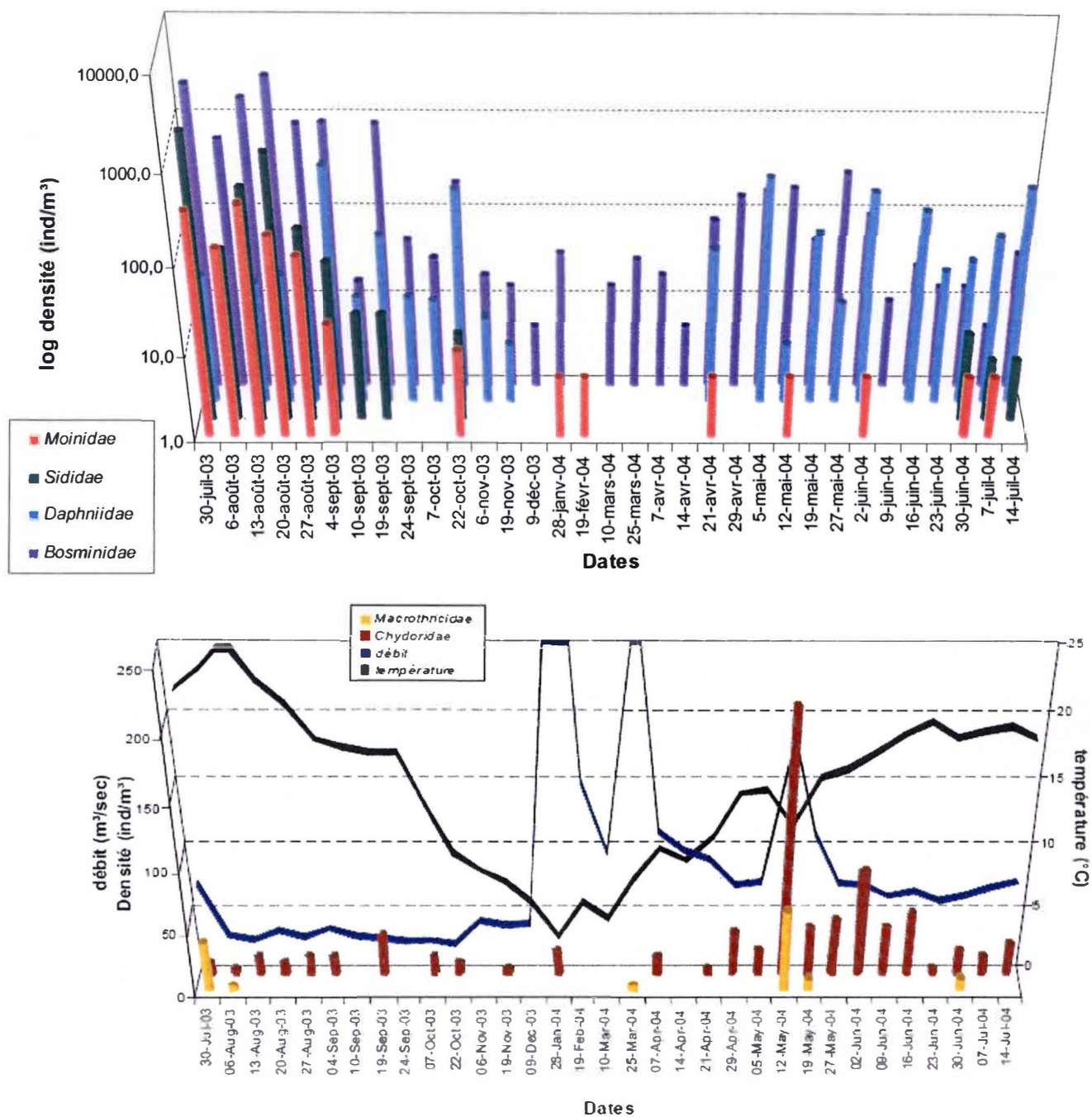


Figure 1 : Histogrammes illustrant les variations temporelles de la densité des Cladocères présents dans le plancton à Tailfer au cours du cycle annuel, superposé aux variations parallèles de la température et du débit des eaux de la Meuse. L'histogramme du haut représente les Cladocères planctoniques (logarithme des densités), celui du bas les Cladocères benthiques.

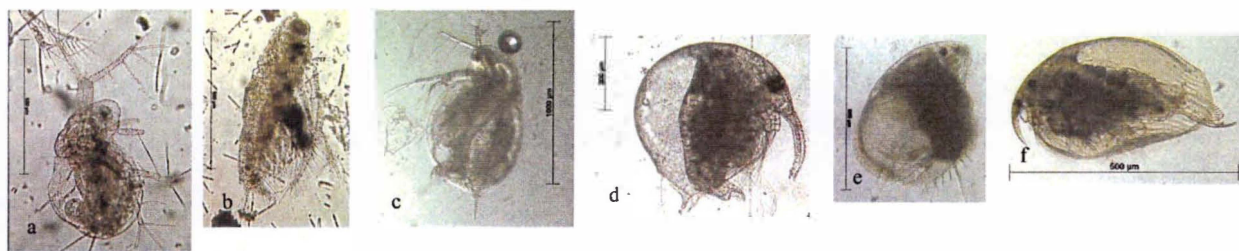


Figure 2 : Photographies des différentes familles de Cladocères rencontrées en Meuse. a : Moinidae, b : Sididae, c : Daphniidae, d : Bosminidae, e : Macrothricidae, f : Chydoridae (photos : auteur).

# RÉSULTATS ET DISCUSSION

## 1 Etude *in situ*

### 1.1 Etude des Cladocères présents dans le plancton de la Meuse sur un cycle annuel (juillet 2003-juillet 2004)

L'étude des Cladocères dans le plancton a été réalisée à Tailfer du 30 juillet 2003 au 14 juillet 2004. Par ailleurs, nous avons complété l'analyse avec des échantillons prélevés au même endroit en 1997 et 1998. Nous avons pour ces échantillons identifié jusqu'à l'espèce les Cladocères benthiques présents.

#### 1.1.1 Cycle annuel

Le but de cette étude était de décrire la dynamique annuelle des différentes familles de Cladocères présentes dans le plancton. Une étude plus approfondie a été réalisée sur les Cladocères benthiques afin de préciser la composition de ces communautés dans le plancton, et de voir si des similitudes peuvent être observées avec les populations présentes dans les sédiments.

#### A. *Les différentes familles de Cladocères*

La figure 1 représente les variations de densités des 6 familles de Cladocères rencontrées en Meuse. Les données relatives à la température de l'eau et au débit ont été transmises par la Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux (site de Tailfer), dont le captage est situé quelques centaines de mètres en amont de notre site de prélèvement.

Au cours du temps, une certaine distribution temporelle des différentes familles de Cladocères peut être remarquée. En effet, les espèces planctoniques sont surtout présentes dans le plancton en août et septembre. Les Bosminidae sont majoritaires durant l'été 2003 et atteignent leur maximum le 20 août 2003 avec 2835 ind.  $m^{-3}$ , tandis que les Daphniidae sont majoritaires en 2004 mais atteignent leur maximum le 4 septembre 2003 avec 495 ind.  $m^{-3}$ . Les densités minimales s'observent le 19 février 2004 chez les Bosminidae et de décembre à mi-avril pour les Daphniidae. Deux autres familles planctoniques sont également présentes mais en plus faible densité. En effet, les Sididae et les Moinidae atteignent le 30 juillet 2003 des densités maximales respectivement de 1620 ind.  $m^{-3}$  et de 350 ind.  $m^{-3}$  mais sont moins abondants par la suite. Les Sididae atteignent leurs minima de novembre à juin, tandis que les Moinidae sont alors plus sporadiques. Les espèces benthiques sont quant à elles surtout présentes au printemps, le pic pour les Macrothricidae et les Chydoridae s'observe le 12 mai 2004, avec respectivement 65 ind.  $m^{-3}$  et 250 ind.  $m^{-3}$ . Les densités minimales s'observent pour les Macrothricidae à partir de septembre 2003 jusqu'en mars 2004 tandis que les Chydoridae sont régulièrement présents en hiver exception faite de février-mars. Nous pouvons également voir que certaines familles sont présentes dans la Meuse pratiquement toute l'année.



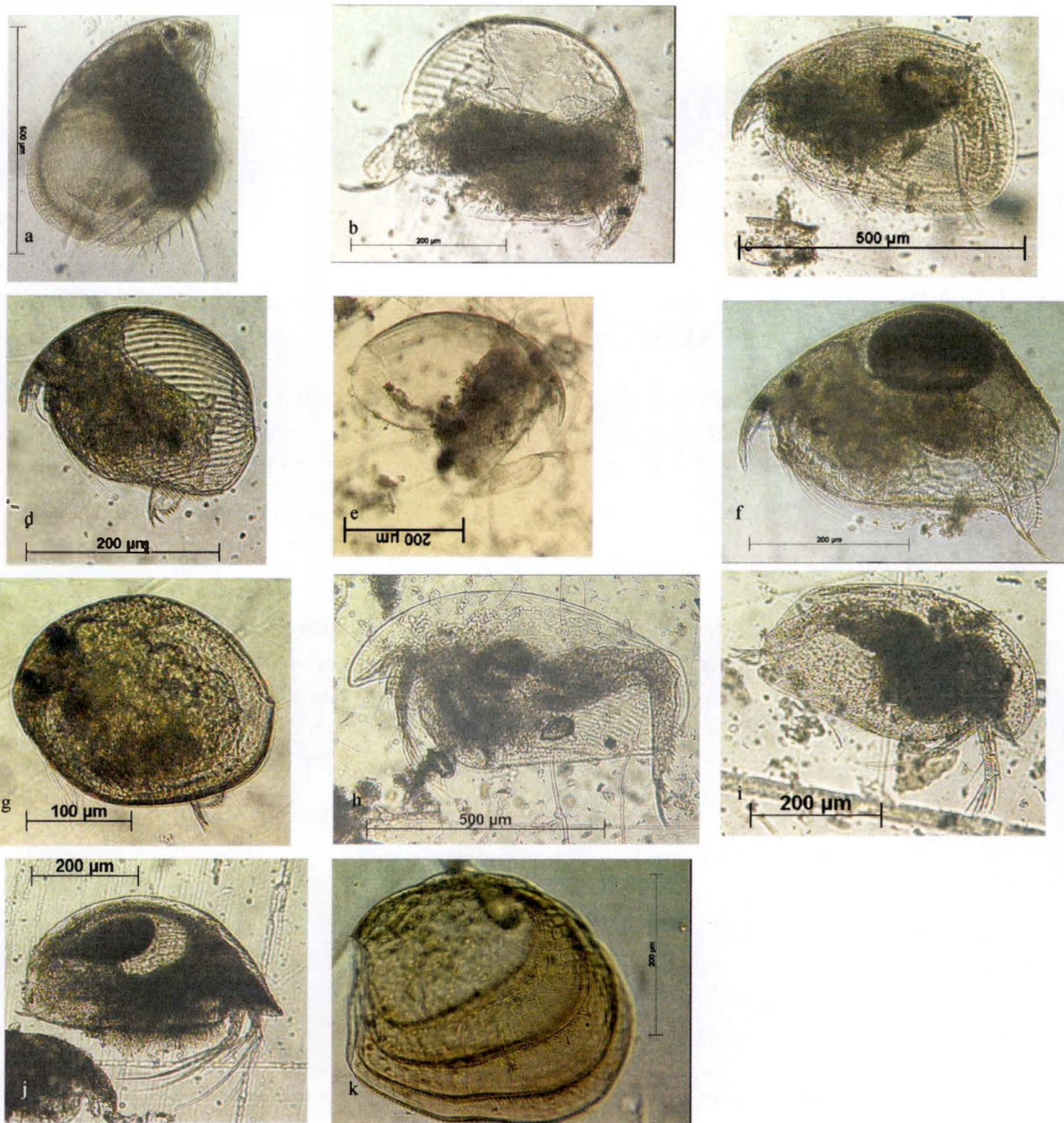


Figure 3 : Photographies des différentes espèces de Macrothricidae et Chydoridae rencontrés. a : *Macrothrix hirsuticornis*, b : *Alona rectangularis*, c : *Alona quadrangularis*, d : *Alonella nana*, e : *Pleuroxus trigonellus*, f : *Disparalona rostrata*, g : *Chydorus sphaericus*, h : *Acroperus* sp., i : *Camptocercus rectirostris*, j : *Graptoleberis testudinaria*, k : *Monospilus dispar*. Des fiches signalétiques sont disponibles en annexe 2. (photos : auteur)



Figure 4 : Photographie de *Scapholeberis mucronata* (photo : auteur)

En ce qui concerne les valeurs de la température et du débit, nous observons deux profils différents : entre le début août et la fin octobre, le débit vaut en moyenne  $28 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ . Nous observons par la suite 3 pics en hiver et au printemps. Ils ont lieu fin janvier, fin mars et la mi-mai. Les températures pour leur part sont maximales avec  $26^\circ\text{C}$  le 13 août, puis elles chutent progressivement jusqu'à la fin janvier pour atteindre  $4^\circ\text{C}$ . Elles remontent ensuite lentement jusque début mai pour atteindre  $15^\circ\text{C}$ , elles chutent alors légèrement avant de remonter et de se stabiliser à la fin de la campagne aux alentours de  $20^\circ\text{C}$ .

En accord avec la théorie, la période de développement maximale des Cladocères planctoniques coïncide avec les débits d'étiages du fleuve durant les mois d'août et septembre. Les espèces benthiques sont quant à elles majoritaires au printemps lorsqu'il y a une augmentation de débit. De plus, les jours précédents, les températures étant en augmentation, la croissance des populations est favorisée.

Nous pouvons dès lors déduire qu'en fonction de la période de l'année, du débit et de la température, nous aurons majoritairement des espèces planctoniques en été durant la période d'étiage et des espèces benthiques au printemps lors d'augmentation du débit et de la température.

Durant les années 1993 à 1998 et 2000 à 2001, la détermination jusqu'aux familles a été réalisée sur les prélèvements dans le plancton à Tailfer. Nous pouvons remarquer que durant ces années les familles planctoniques de Moinidae, Sididae et Bosminidae atteignent leurs densités maximales en juillet-août et les Daphniidae en août, respectivement aux alentours de 4500, 2000, 100000 et 2000 ind.  $\text{m}^{-3}$ . Par contre, les familles benthiques atteignent toutes deux leurs densités maximales en juin-juillet et atteignaient chaque année 1500 ind.  $\text{m}^{-3}$  (Viroux, 1999).

Si nous comparons toutes ces données, nous observons une certaine continuité dans la périodicité des espèces planctoniques. Par contre, cette année, les espèces benthiques ont atteint des maxima plus tôt dans la saison mais les densités maximales étaient beaucoup plus faibles que les années précédentes.

Nous pouvons voir que lors de ce cycle, des densités plus faibles ont été observées. Pourtant la même méthode d'échantillonnage a été utilisée au cours de ces différentes années.



*Macrothrix* sp.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997		X			
1998			X	X	X
2003			X	X	
2004		X			

*Chydorus* sp.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997	X	X	X		
1998		X	X		X
2003					X
2004	X	X	X		

*Pleuroxus trigonellus*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997	X	X	X		
1998		X	X		
2003					
2004		X			

*Alona rectangularis*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997	X				
1998		X	X		
2003				X	X
2004	X	X			

*Alonella* sp.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997					
1998			X		
2003					
2004					

*Acroperus* sp.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997			X		
1998		X			
2003					
2004					

*Graptoleberis testudinaria*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997			X	X	X
1998		X	X		
2003					
2004					

*Macrothrix hirsuticornis*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997	X				
1998			X		
2003					
2004	X				

*Disparalona rostrata*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997		X	X		
1998		X	X		X
2003			X	X	X
2004	X	X			

*Alona* sp.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997	X	X	X		
1998		X	X		X
2003					
2004	X	X	X		

*Alona quadrangularis*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997					
1998			X		
2003					
2004		X			

*Alonella nana*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997					
1998			X		
2003					
2004	X				

*Camptocercus rectirostris*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997			X		
1998					
2003					
2004					

*Monospilus dispar*

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1997					
1998			X		
2003					
2004					

Tableau 1 : Périodes de présence (X) des différentes espèces de Chydoridae et Macrothricidae durant les mois de mai à septembre en 1997, 1998, 2003 et 2004 en Meuse. Les cases grisées représentent le pic de l'espèce concernée cette année-là.



### B. Les différentes espèces de Cladocères benthiques

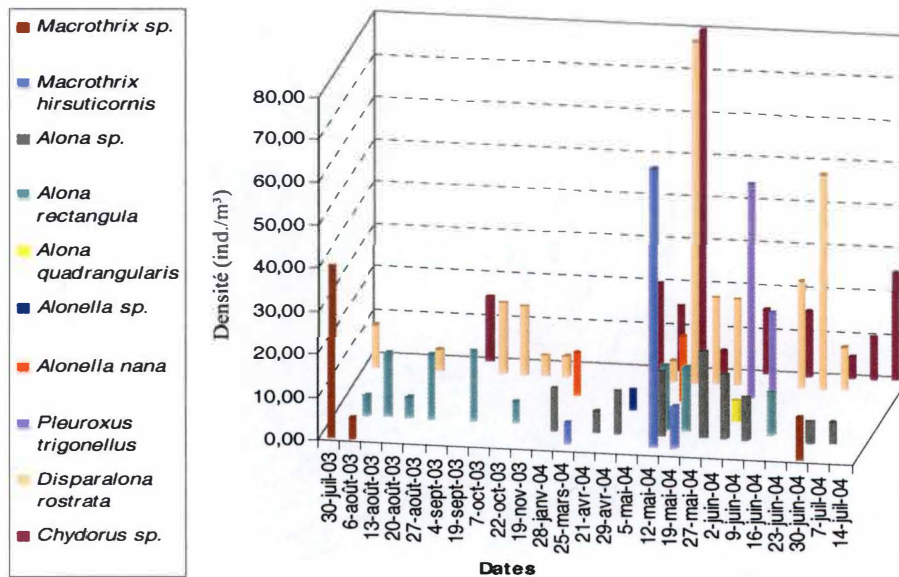


Figure 5 : Variations temporelles de la densité des différentes espèces de Macrothricidae et de Chydoridae collectées dans le plancton à Tailfer au cours de l'année.

La figure 5 nous montre qu'au cours du cycle annuel, 6 genres de Cladocères benthiques ont été identifiés. Certains genres et espèces tels que *Chydorus* sp., *Alona* sp. et *Disparalona rostrata* étaient présents quasiment tout le long de l'année. Les genres *Alonella* et les espèces *Alonella nana* BAIRD, 1843 et *Pleuroxus trigonellus* O. F. MÜLLER, 1785 étaient présents de façon plus sporadique au début du printemps.

Le pic d'abondance est atteint le 12 mai. *Disparalona rostrata* et *Chydorus* sp. ont atteint ce jour-là une densité de 80 ind. m<sup>-3</sup> et *Macrothrix hirsuticornis* 65 ind. m<sup>-3</sup>.

En ce qui concerne la distribution des Cladocères benthiques, nous pouvons remarquer qu'elle est assez hétérogène au cours de l'année. Certaines espèces se retrouvent tout au long de l'année mais le pic maximum est au printemps. Nous pouvons par ailleurs remarquer que durant les mois d'hiver, une certaine population persiste, étant donné que des individus apparemment en parfait état ont été collectés.

#### 1.1.2 Comparaison entre 1997, 1998 et 2003-2004

Nous avons réutilisé des échantillons prélevés dans le plancton en 1997 et 1998 pour comparer les espèces benthiques présentes à cette époque et celles présentes au cours du cycle qui nous concerne. Le dénombrement des espèces a eu lieu sur les échantillons pris à Tailfer de mai à septembre 1997, de juin à septembre 1998, et bien entendu de juillet à septembre 2003 et de mai à juillet 2004.

Le tableau 1 nous fait remarquer que 10 genres benthiques différents sont identifiés. Certaines espèces sont assez courantes dans la Meuse, et ce durant les différents mois de l'année. C'est le cas de *Macrothrix* sp., *Chydorus* sp., *Disparalona rostrata*, *Alona* sp. D'autres espèces comme *Pleuroxus trigonellus* sont présentes tous les ans, mais seulement au début de la saison.

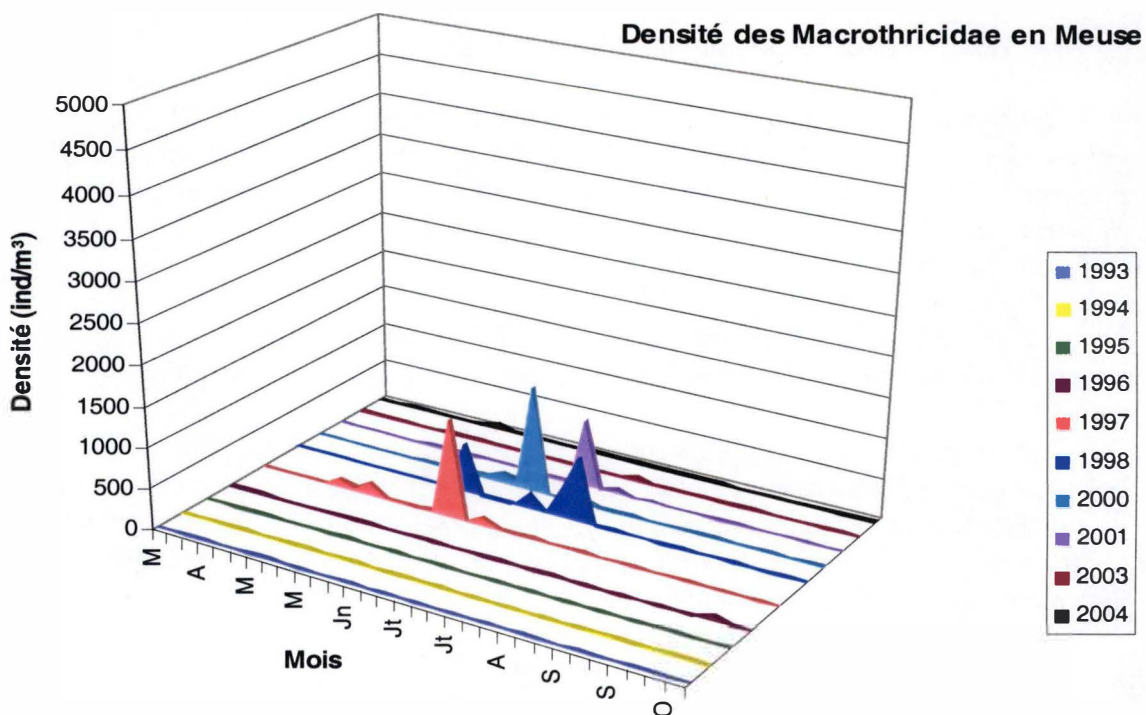
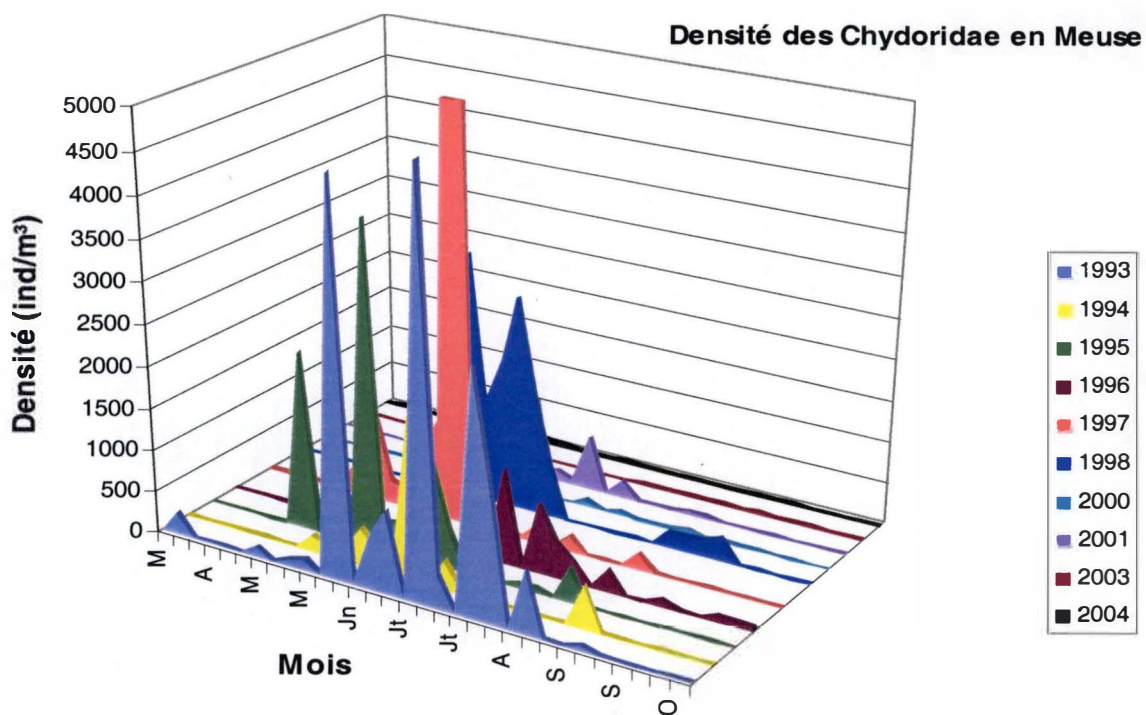


Figure 6 : Histogrammes représentant les variations temporelles des densités de Chydoridae et de Macrothricidae en Meuse entre 1993 et 2004. Les données pour les années 1997 et 1998 sont celles de Laurent Viroux (2000).



Certaines espèces n'ont été observées que rarement, et encore certaines années. C'est le cas d'*Alonella* sp., *Acroperus* sp., *Camptocercus rectirostris* SCHOEDLER, 1862, *Graptoleberis testudinaria* et *Monospilus dispar* SARS, 1862. Par ailleurs, au mois d'avril de cette année, un individu du genre *Alonella* a été trouvé à Tailfer ainsi qu'une carapace de *Monospilus dispar*. En 1997 et 1998, une diversité plus importante peut être observée. Ceci peut être dû entre autre aux travaux effectués au barrage de Waulsort qui a remis en suspension les sédiments. De ce fait, les densités atteintes par les Cladocères benthiques durant ces deux années sont probablement artificiellement élevées par rapport à une situation "normale".

Nous pouvons remarquer que d'une année à l'autre, les espèces benthiques principales sont présentes dans le plancton plus ou moins au même moment de l'année, même si les pics ne correspondent pas toujours d'une année à l'autre. Malheureusement, entre 1998 et 2003, aucune donnée n'est disponible sauf pour 2000 et 2001 mais le manque de temps ne nous a pas permis de pouvoir déterminer jusqu'à l'espèce les Chydoridae et Macrothricidae présents. Nous pouvons tout de même remarquer que sur les 4 années d'observations, pour les espèces les plus courantes, 2 pics sur 4 sont observés le même mois.

#### 1.1.3 Commentaire général sur les Cladocères benthiques dans le plancton, comparaison avec d'autres systèmes

Des études précédentes réalisées sur différents fleuves nous donnent des valeurs sur la densité des Cladocères benthiques. Pourriot (1982) signale que le pic de densité des Cladocères benthiques atteint 35000 ind. m<sup>-3</sup> dans la Loire. Sur une section du Danube en Hongrie, Gulyás (1994a) recensait en septembre et en octobre 1991 des densités de Cladocères de 20 ind. m<sup>-3</sup>. En Meuse, durant ce cycle, dans la dérive, les densités maximales de Cladocères ont atteint 2800 ind. m<sup>-3</sup>. Les Cladocères benthiques pour leur part ne dépassaient pas 210 ind. m<sup>-3</sup> dans la dérive. Par contre, les espèces benthiques ont atteint en 1993 et 1997 respectivement 5010 et 1080 ind. m<sup>-3</sup> (Figure 6) (Viroux, 1999).

Pourriot (1982), lors de son étude sur la Loire, a identifié les 4 familles les plus représentées des Cladocères : Daphniidae, Bosminidae, Chydoridae et Macrothricidae. Les familles des Chydoridae et Macrothricidae comprenaient respectivement 8 et 3 espèces. Gulyás (1994a) quant à lui, dénombrait 26 taxons différents de Cladocères faisant partie des familles des Daphniidae, Bosminidae, Chydoridae, Macrothricidae, Sididae, Moinidae et Leptodoridae. Les Chydoridae comprenaient 7 espèces et les Macrothricidae 3. Pour notre part, 3 espèces de Macrothricidae ont déjà été citées sur la Meuse (Viroux, 2000) mais une seule a été retrouvée cette année. En ce qui concerne les Chydoridae, 9 genres ont été dénombrés sur la Meuse au cours des dernières années.

Nous pouvons constater que les Cladocères benthiques récoltés dans le plancton de la Meuse sont peu nombreux. Il serait intéressant d'augmenter les volumes d'eau pris dans le courant pour augmenter la probabilité de capturer des espèces rares. Une autre méthode pourrait être utilisée en complément, c'est le filet à plancton car il permet de prélever un plus grand volume, mais c'est plutôt un outil qualitatif que quantitatif (Viroux, 2000).

Par ailleurs, une diversité importante est présente, et est parfois supérieure à celle rapportée pour d'autres fleuves tels que la Loire et le Danube en ce qui concerne les Chydoridae, par contre, pour les Macrothricidae, la richesse de la Meuse apparaît plus faible.



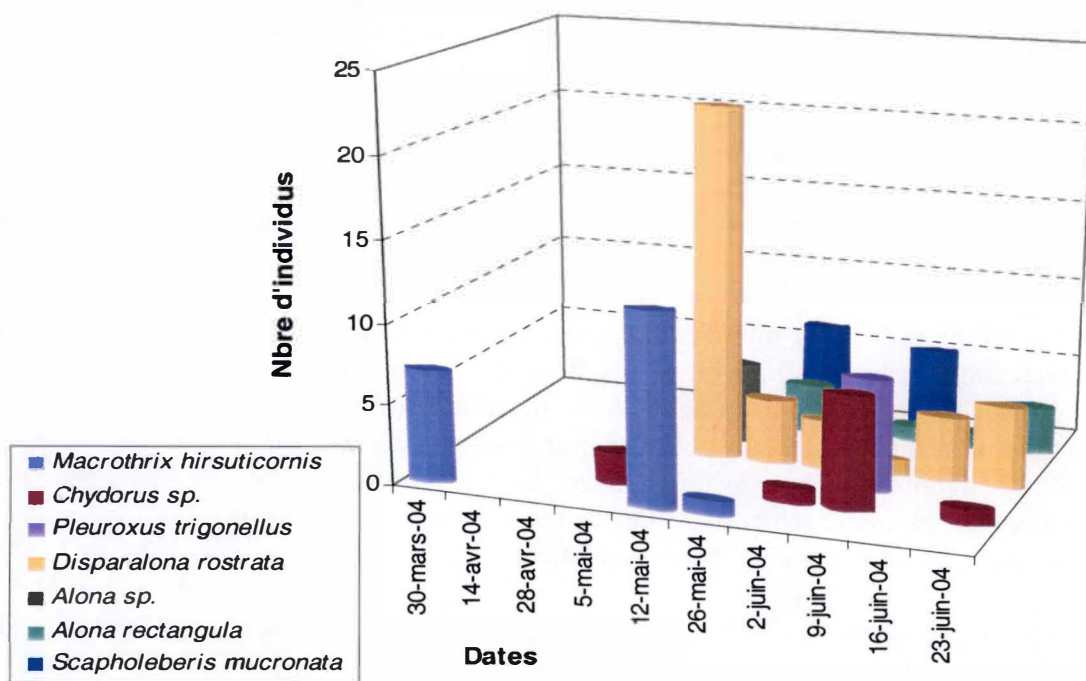


Figure 7 : Variations temporelles du nombre d'individus des différentes espèces de Cladocères collectés dans les sédiments à Champalle au printemps 2004.

	Macrothricidae	Chydoridae					Daphniidae
	<i>Macrothrix hirsuticornis</i>	<i>Chydorus</i> sp.	<i>Alona</i> sp.	<i>Alona rectangula</i>	<i>Disparalona rostrata</i>	<i>Pleuroxus trigonellus</i>	<i>Scapholeberis mucronata</i>
30-mars-04	7(3)						
14-avr-04							
28-avr-04							
5-mai-04		2					
12-mai-04	12		5(2)		22(7)		
26-mai-04	1(1)			3	4(2)		6(1)
2-juin-04		1			3(1)		
9-juin-04		7		1	1(1)	7(5)	5(4)
16-juin-04				1	4(1)		
23-juin-04		1		4(1)	6(1)		

Tableau 2 : Détail du nombre total d'individus collectés à Champalle illustrant le nombre de femelles portant des œufs (chiffres entre parenthèses).

Pour savoir le pourquoi de ces densités plus faibles, il faudrait pour cela savoir d'où viennent les individus rencontrés dans le plancton. La Meuse comporte moins de zones "réservoirs" que les autres fleuves, ce qui diminue la potentialité d'alimenter le plancton en individus. Par ailleurs, le faible niveau de perturbation du lit dû au fait que les débits sont faibles peuvent à leur tour expliquer ces faibles densités dans le plancton.

## 1.2 Etude dans les sédiments

Nous présentons dans cette deuxième section les résultats de l'étude *in situ* au site de Champalle au printemps 2004, dont l'objectif était d'identifier les populations benthiques vivant dans les sédiments de la Meuse et d'obtenir une première information sur leur dynamique de population.

La figure 7 et le tableau 2 montrent qu'au cours des 10 campagnes d'échantillonnages, 6 genres de Cladocères ont été dénombrés. Au mois d'avril, aucun Cladocère n'a été collecté. Parmi les 6 genres de Cladocères récoltés, 5 étaient des genres benthiques à part entière. La communauté la plus abondante a été observée le 12 mai. Toutes les populations étaient constituées de femelles juvéniles ou de femelles adultes. Nous pouvons également remarquer que chez toutes les espèces, sauf *Chydorus* sp., des femelles avec des œufs ont été capturées, ce qui peut suggérer qu'une population stable vit à cet endroit. L'espèce la plus abondante est *Disparalona rostrata*, celle-ci était présente à 6 reprises.

Lors de l'étude dans les sédiments, nous avons pu observer qu'une communauté benthique diversifiée était développée. La majorité des taxons présents l'étaient lors des différents échantillonnages ce qui peut laisser à supposer que des populations stables vivent à cet endroit dans la Meuse.

Nous pouvons remarquer que les espèces de Cladocères benthiques sont surtout observées à partir du mois de mai. *Macrothrix hirsuticornis* est la seule espèce présente au mois de mars, ceci peut être dû au fait que *M. hirsuticornis* soit une espèce identifiée comme psychrophile (Amoros, 1984).

Les espèces les plus représentées sont des espèces ne vivant que dans les sédiments. *Chydorus sphaericus* et *Pleuroxus trigonellus* sont des espèces moins présentes sur le site car elles sont capables respectivement de vivre dans la colonne d'eau, ou de s'éloigner des substrats (Amoros, 1984).

Le fait que *Chydorus sphaericus* ne soit jamais retrouvé avec des œufs peut suggérer que le site n'abrite pas une population stable. Par ailleurs, lors de nos prélèvements, nous capturons peu d'individus, et étant donné qu'ils se déplacent rapidement, il se peut qu'ils échappent au troubleau ou au grappin.

La dynamique de population de *Disparalona rostrata* est la mieux représentée. En effet, à chaque échantillonnage où elle était présente, des femelles avec des œufs étaient collectées. Ces femelles représentaient entre 16 % et 50 % de la population. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Robertson (1990) chez cette même espèce où les femelles adultes représentent 30 à 40 % de la population ; en mai, 80 % de celles-ci sont porteuses d'œufs.

La méthode utilisée ici pour prélever les organismes est semi-quantitative et ne permet pas de calculer une densité, même si d'une fois à l'autre, nous essayions de couvrir une surface identique.

Dès lors, nous ne pouvons pas totalement comparer nos résultats avec ceux obtenus par les différentes études que Robertson et son équipe ont réalisées. En effet leurs méthodes d'échantillonnages leur permettaient de connaître la densité de la communauté à l'endroit étudié. Il faut envisager la possibilité de se baser sur leurs techniques. Lors de ces études, ils employaient deux techniques différentes. La première était utilisée pour collecter des échantillons de sédiments. Ils utilisaient alors un tube en plastique d'un diamètre interne de 1,5 cm et long de 9 cm, qui échantillonnait une surface de 1,7 cm<sup>2</sup>. La flottation était ensuite utilisée pour séparer les animaux des sédiments. La deuxième méthode employée servait pour des échantillons quantitatifs. Ils utilisaient une matrice 4x4 d'entonnoirs carrés couvrant chacun 64 cm<sup>2</sup> de substrat, ceux-ci se terminaient par des bouteilles collectrices. Ce système restait en place la nuit. Les Chydoridae au contact avec le substrat, se déplacent en rampant et étaient emportés dans les tubes.

Ce système nous permettrait probablement d'avoir une meilleure vue d'ensemble sur la population présente dans les sédiments, surtout pour les espèces hyporhéiques pas toujours présentes à la surface des sédiments lors de nos échantillonnages. Le problème est que les rives de la Meuse sont composées de sédiments grossiers. De ce fait, il se pourrait que cette méthode ne soit pas applicable sauf dans quelques sites bien choisis où le sédiment est plus fin.

Durant l'étude de Robertson (1990) sur la Tamise, 9 espèces de Cladocères benthiques ont été dénombrées. Lors de nos échantillonnages dans les sédiments, 6 genres ont été déterminés. Nous pouvons donc remarquer que même si notre méthode n'était peut-être pas la meilleure, nous avons tout de même observé une diversité intéressante.

Nous avons par ailleurs cité les taxons d'invertébrés et vertébrés présents (Annexe 3).

### **1.3 Parallèle entre les études sur les deux compartiments (plancton vs. benthos)**

Nous pouvons remarquer qu'une corrélation intéressante existe entre les populations prélevées dans le plancton et dans les sédiments. En effet, le pic des Cladocères benthiques dans l'eau libre a eu lieu le 12 mai, ce qui correspond au pic dans les sédiments. De plus, le 12 mai, il y a également un pic de débit. Nous pouvons dès lors expliquer la présence importante de Chydoridae et Macrothricidae dans la dérive à cette date, puisqu'une augmentation de débit entraîne les populations benthiques plus facilement vers l'aval.

Une des espèces benthiques majoritaires le 12 mai dans la dérive est *Disparalona rostrata*. Cette espèce est également l'espèce majoritaire dans les sédiments à la même date.



Le site de Champalle donne une bonne représentation de la population benthique présente dans la Meuse. En effet, sur les 6 genres de Chydoridae et Macrothricidae présents dans la dérive cette année, 5 ont été observés sur le site de Champalle. Nous pouvons également remarquer une corrélation entre la présence des différentes espèces de Chydoridae dans la dérive et dans les sédiments. En effet, *Pleuroxus trigonellus* était présente dans les sédiments uniquement le 9 juin et dans le plancton les 2 et 9 juin. Si nous comparons avec l'étude de Robertson sur la Tamise, nous pouvons remarquer que cette espèce était également présente de façon sporadique, avec un pic d'abondance en juin (Robertson, 1990). Même si on ne peut affirmer que les Cladocères benthiques prélevés dans la colonne d'eau trouvent leur origine dans un site aussi proche que Champalle, situé 14 kilomètres à peine en amont, le parallèle entre les pics des différentes espèces est une indication du synchronisme des populations et de la possibilité d'une origine proximale des populations dérivantes.

Une liste faunistique illustrée des différentes espèces recensées est donnée en annexe 2. Elle comporte quelques données générales sur la biologie de chaque espèce rencontrée.

## 2 Etudes en laboratoire

Le second grand volet de notre étude a consisté en la réalisation d'élevage *in vitro* de populations de Cladocères benthiques en conditions contrôlées de température, en usant différentes sources de nourriture, à différentes concentrations. Cette étude avait pour but de récolter des données sur la démographie de ces espèces, tout en restant le plus fidèle aux conditions de vie dans l'environnement naturel.

Deux espèces, *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus* se sont très bien adaptées aux conditions de laboratoire et ont pu faire l'objet d'expérimentation. D'autres espèces comprenant *Alona rectangula*, *Alona quadrangularis* et *Disparalona rostrata* ont crû de façon plus aléatoire, avant de péricliter.

### 2.1 Expériences préliminaires

Nous avons tout d'abord réalisé des expériences pour déterminer les conditions de culture les plus propices en examinant notamment la source de nourriture la plus adéquate. Ces expériences nous permettaient de voir comment les populations évoluaient dans un milieu proche de leur environnement naturel, en absence de prédateurs.

Nous avons réalisé deux expériences. La première utilisait pour source de nourriture des algues vertes non mobiles : *Chlorella vulgaris*. Malheureusement, les individus nourris avec cette algue s'y sont "embourbés" et ils sont tous décédés au bout de quelques jours. Pourtant, des études réalisées au Mexique (Enriquez Garcia *et al.*, 2003 ; Nandini & Sarma, 2003) ont déjà utilisé cette algue avec succès. Dès lors, nous avons réalisé une deuxième expérience avec des détritux desséchés.

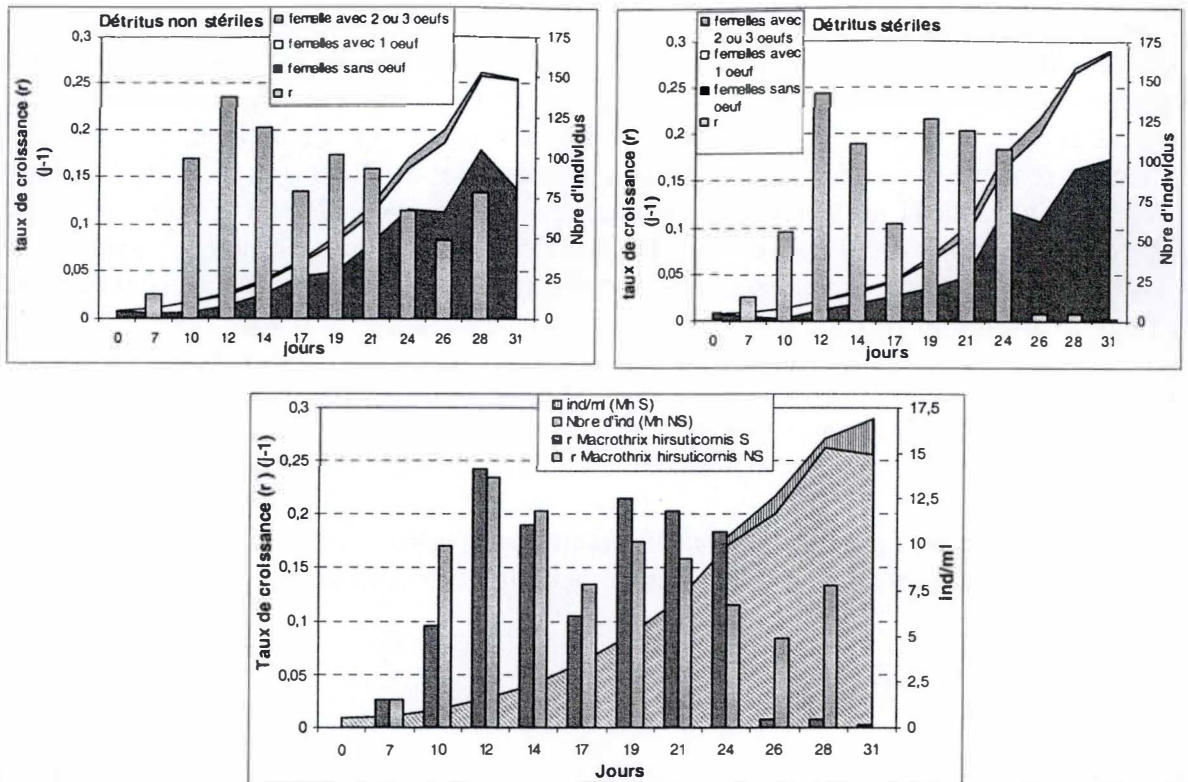


Figure 8 : Variations des effectifs (aires) et du taux de croissance (histogrammes) de deux populations de *Macrothrix hirsuticornis* élevées dans les milieux constitués de détritus non stériles (NS) ou stériles (S). Les effectifs sont décomposés pour représenter les différents stades caractéristiques des individus.

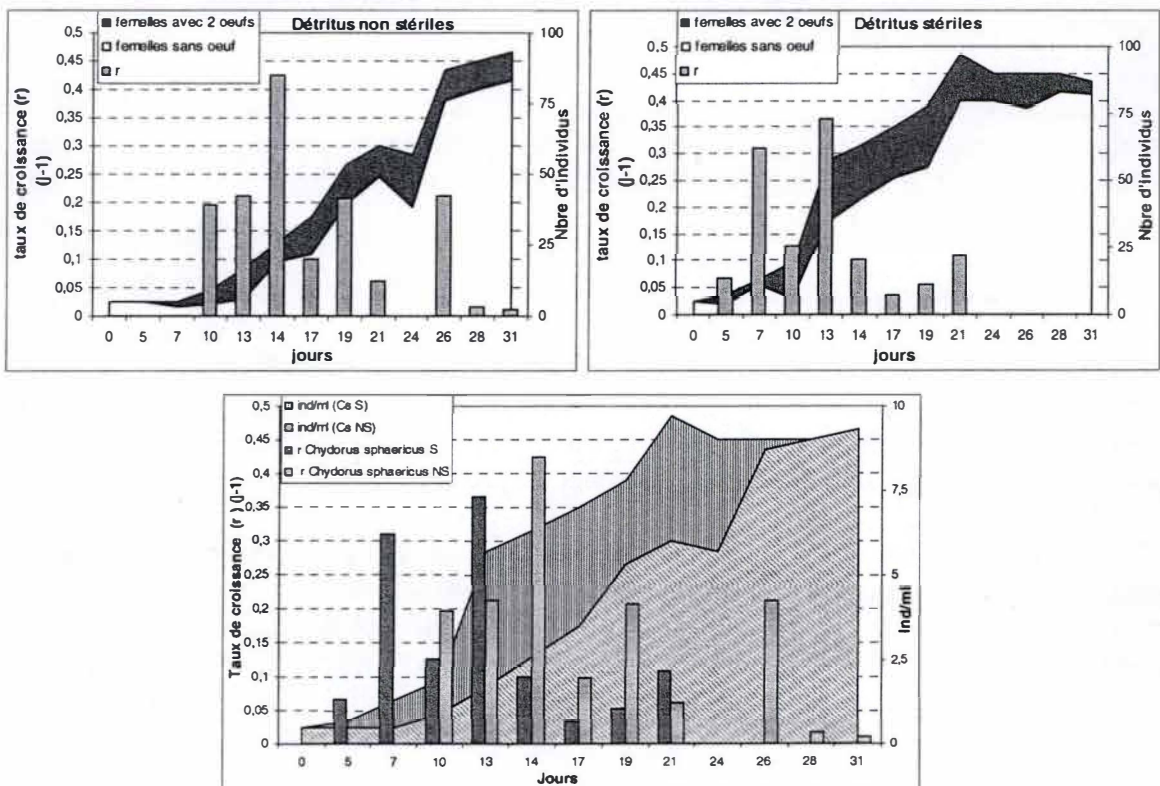


Figure 9 : Variations des effectifs (aires) et du taux de croissance (histogrammes) de deux populations de *Chydorus sphaericus* élevées dans les milieux constitués de détritus non stériles (NS) ou stériles (S). Les effectifs sont décomposés pour représenter les différents stades caractéristiques des individus.



Cette expérience a été réalisée avec *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus* à une température de 20°C. Pour cela, au début de l'expérience, 5 nouveau-nés sont placés dans une boîte de Pétri avec 10 ml de nourriture, soit stérile, soit non stérile. Les individus étaient ensuite dénombrés tous les lundi, mercredi et vendredi. Ces expériences n'ont été réalisées qu'une seule fois. Cette comparaison est nécessaire, car les premiers essais de cultures avec du sédiment filtré mais non stérilisé étaient perturbés par l'émergence de prédateurs que la stérilisation permet d'éliminer. Celle-ci détruit toutefois les bactéries vivantes qui peuvent servir de source de nourriture aux Cladocères. Il convenait donc de tester les conséquences de cette procédure sur la survie des Cladocères.

### 2.1.1 Croissance comparée de *Macrothrix hirsuticornis* sur des détritits stériles et non stériles

La figure 8 montre qu'au cours de cette expérience, *Macrothrix hirsuticornis* croît de façon indifférente dans les deux milieux mais un meilleur taux de croissance est observé dans les détritits stériles. Tout au long de l'expérience, aucun mâle n'a été détecté.

Les femelles sans œuf représentent toujours plus de 50 % de la population totale. Le nombre de femelles avec plus de 1 œuf ne dépasse jamais, dans les deux milieux, plus de 13 % de la population totale. Le plus grand taux de croissance journalier est atteint dans les deux cas le douzième jour de l'expérience mais ne dépasse pas 0,25 j<sup>-1</sup>.

### 2.1.2 Croissance comparée de *Chydorus sphaericus* sur des détritits stériles et non stériles

La figure 9 illustre la croissance de la population de *Chydorus sphaericus* dans les deux milieux, stérile et non stérile. Nous pouvons remarquer que *C. sphaericus* grandit également plus rapidement dans le milieu stérile. De nouveau, au cours de l'expérience, nous n'avons observé qu'une population de femelles.

Les femelles sans œuf représentent la plupart du temps plus de 50 % de la population. Le taux de croissance le plus élevé est atteint le treizième jour pour le milieu stérile et le quatorzième jour pour le milieu non stérile. Le taux de croissance journalier ne dépasse pas 0,45 j<sup>-1</sup>.

### 2.1.3 Parallèle entre *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus*

Lors de ces expériences préliminaires, nous avons remarqué que la population de *Macrothrix hirsuticornis* grandissait de façon indifférente dans le milieu stérile et non stérile tandis que la population de *Chydorus sphaericus* grandissait plus rapidement avec des détritits stériles. Dans ces détritits, les bactéries sont tuées. Or la littérature nous apprend que *Chydorus sphaericus* se nourrit de bactéries (Amoros, 1984). Il semble donc que *C. sphaericus* soit capable de se nourrir de bactéries mortes toujours présentes après stérilisation.



Ces expériences, n'ont été réalisées qu'une seule fois, elles sont à reproduire; mais ont valeur de test. Par ailleurs, la pression des prédateurs a pu jouer un rôle important et handicaper la croissance dans les milieux non stériles. Les faibles différences observées entre la croissance des deux espèces sur les deux types de nourriture pourrait être due uniquement à la prédation qui apparaît lorsque les détritus non stériles sont incubés plusieurs jours. De petits Copépodes Cyclopoides émergeant notamment, probablement de stades de résistance.

## 2.2 Expériences proprement dites

La première expérience consistait à étudier les effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la reproduction de *Macrothrix hirsuticornis*. Les suivantes avaient pour but de voir les effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez *Macrothrix hirsuticornis*, *Chydorus sphaericus* et *Alona quadrangularis*. Dans ces différentes populations, nous n'avons observé que des femelles. En effet, les mâles n'apparaissent que lors d'un stress, qui n'a pas été provoqué durant ces différentes expériences. Six rations journalières ont été testées, qui correspondent pour rappel aux contenus en carbone organique suivants (Tableau 3) :

Ration	µg Corg/ind.
A	211,0
B	168,8
C	126,6
D	84,4
E	63,3
F	42,2

Tableau 3 : Constitution des différentes rations, exprimées en carbone organique, utilisées au cours des différentes expériences.

Ces rations sont supposées être de l'ordre de grandeur de celles accessibles aux organismes dans le milieu dont ils proviennent.

### 2.2.1 Effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la reproduction chez *Macrothrix hirsuticornis*

Au cours de cette expérience, des triplicats ont été utilisés pour chaque concentration aux deux températures. Au début de l'expérience, tous les individus avaient moins de 24 h. L'expérience à 20°C a duré 58 jours pour les trois rations journalières les plus faibles (D, E, F) et 36 jours pour les rations journalières les plus élevées (A, B, C). A 15°C, elle a duré 56 jours pour les rations journalières les plus faibles et 35 jours pour les plus élevées (Figure 10 et tableau 4).

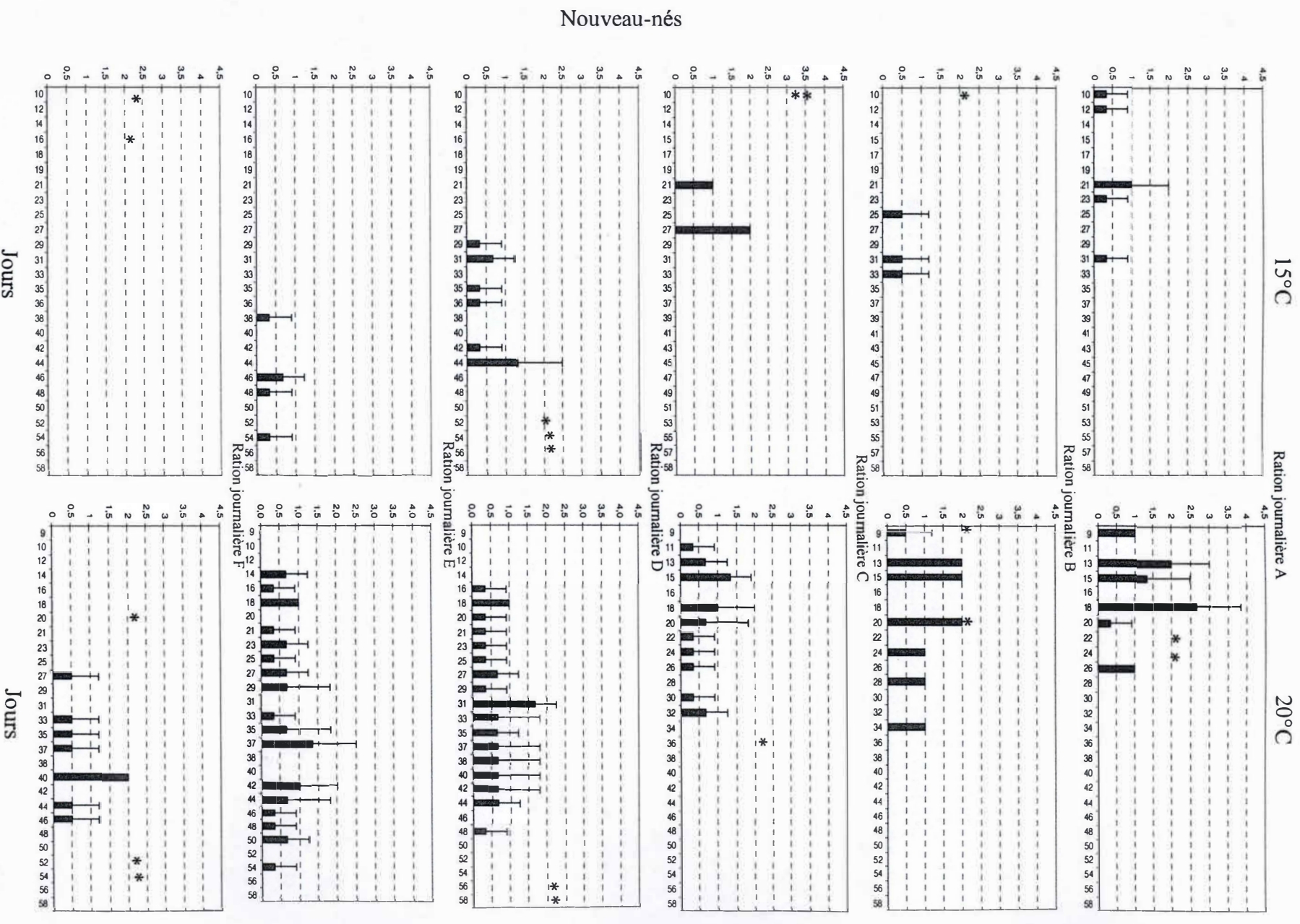


Figure 10 : Etalement de l'effort reproducteur (nombre de nouveau-nés par jour) chez *Macrobrachium hirsuticornis*, en fonction de la température (colonnes) et de la ration journalière (lignes). Un astérisque représente un individu décédé.



15°C	A	B	C	D	E	F
Durée de l'expérience (jours)	35			56		
Durée de vie (jours)	35	24 ± 19,05	13 ± 19,05	54 ± 2	56	27,3 ± 25,01
Nbre de couvées par femelle	2,3 ± 0,58	2,5 ± 0,71	2	3,3 ± 0,58	2 ± 1	0
Nbre de couvées à terme par femelle	1,7 ± 0,58	1,5 ± 0,71	2	2,7 ± 1,15	1,7 ± 1,15	0
Nbre de nouveau-nés par femelle	2 ± 1	1,5 ± 0,71	3	3,3 ± 0,58	1,7 ± 1,15	0
Durée de la période de reproduction	11 ± 10	4,5 ± 4,95	6	13 ± 2	6 ± 8,66	0

20°C	A	B	C	D	E	F
Durée de l'expérience (jours)	36			58		
Durée de vie (jours)	27,33 ± 7,57	20,33 ± 15,5	36	56,7 ± 1,15	58	42 ± 19,08
Nbre de couvées par femelle	4,33 ± 0,58	4,5 ± 3,54	5,33 ± 0,58	8,33 ± 1,15	9,33 ± 0,58	4
Nbre de couvées à terme par femelle	4,33 ± 0,58	4,5 ± 3,54	5 ± 1	8 ± 1	8,33 ± 1,53	4
Nbre de nouveau-nés par femelle	7,67 ± 2,08	7 ± 4,24	6	10,33 ± 2,31	10,33 ± 2,31	5
Durée de la période de reproduction (jours)	11,67 ± 4,62	16 ± 12,73	19	28 ± 2	36,67 ± 3,05	11

Tableau 4 : Valeurs moyennes prises par les principaux paramètres étudiés au cours de l'expérience mesurant les effets de la température et de la ration sur la reproduction chez *Macrothrix hirsuticornis*.

Nous pouvons tout d'abord remarquer que pour une même ration journalière, les femelles mettent plus de temps pour porter leur première couvée à terme à 15°C qu'à 20°C. Ceci se remarque de plus en plus nettement lorsque la ration journalière diminue. Nous pouvons également voir que la durée de vie moyenne est plus courte à faible température, excepté pour les deux plus grandes rations. De plus, les femelles ont une progéniture totale moins nombreuse à 15°C qu'à 20°C, pour une même durée d'expérience.

Pour une même température, nous pouvons remarquer que plus la ration journalière est faible, plus il faut du temps à la femelle pour porter une couvée à terme.

A 20°C, nous pouvons voir qu'à la ration journalière la plus élevée, les femelles ont rapidement plusieurs jeunes à la fois, mais ensuite elles meurent précipitamment. Par contre, aux plus faibles rations journalières, elles n'avaient qu'un jeune ou parfois deux en même temps, mais sur une plus longue période.

A 15°C, nous pouvons observer ce même phénomène mais de façon moins marquée. A la plus faible ration journalière, une femelle sur les trois est arrivée au terme de l'expérience, suggérant que l'on s'approche du seuil limite inférieur de la ration journalière à partir duquel les dépenses métaboliques minimales sont à peine assurées, et aucune reproduction n'est possible.



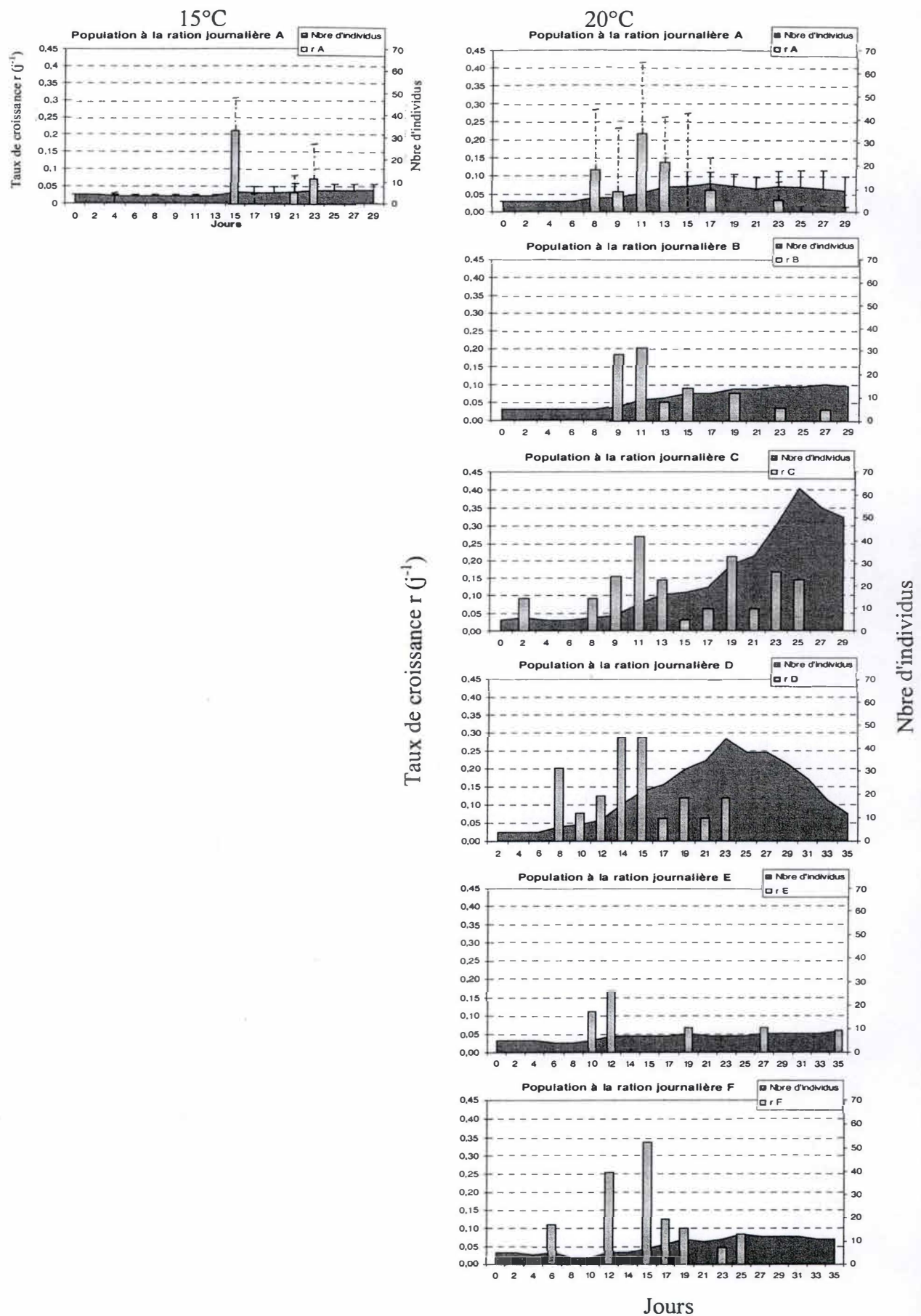


Figure 11 : Variations des effectifs (aires) et du taux de croissance (histogrammes) de populations de *Macrothrix hirsuticornis* élevées en groupes (5 individus au départ) à 2 températures (colonnes) et à différentes rations décroissantes (du haut vers le bas).

Nous avons par ailleurs réalisé une Anova et un test de Scheffé où les paramètres fixés sont la température et la concentration et les variables aléatoires sont le nombre de couvées, le nombre de couvées à terme et le nombre de nouveau-nés. Nous avons pu voir par un test de Scheffé ( $p < 0,05$ ) (Annexe 2) que pour les rations journalières D et E à 20°C le nombre de couvées et de nouveau-nés est significativement plus élevé que chez les femelles nourries aux 6 rations à 15°C. Une exception existe pour la ration journalière intermédiaire à 15°C.

### 2.2.2 Effets conjugués de la température et de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez *Macrothrix hirsuticornis*

Lors de cette expérience, nous avons élevé des populations de *Macrothrix hirsuticornis*. Des groupes de 5 individus ont été élevés à différentes rations journalières à 20°C. L'étude a également été réalisée à 15°C mais uniquement pour la plus grande ration journalière. Ces individus étaient des nouveau-nés pour les quatre rations journalières les plus élevées, et des juvéniles ayant déjà eu plusieurs mues pour les deux rations journalières les plus faibles. Nous avons réalisé des duplicats seulement pour la ration journalière la plus importante (Figure 11), par manque d'individus au stade adéquat de développement.

Nous pouvons remarquer que pour la ration journalière la plus importante, la température joue un rôle. En effet, à 15°C, la population ne dépasse jamais 10 individus, alors qu'à 20°C elle peut le dépasser.

Pour une même température, la population la plus nombreuse n'est pas atteinte pour la plus grande ration journalière, mais pour une ration intermédiaire. En effet, la population nourrie à la ration journalière C atteint 63 individus le 25<sup>ème</sup> jour, avant de décliner. Pour les deux rations journalières les plus faibles, les populations ont du mal à démarrer. La population nourrie à la ration journalière E stagne tout au long de l'expérience. Par contre, la population nourrie à la ration journalière F connaît une faible augmentation de population vers le 15<sup>ème</sup> jour d'expérience.

Le taux de croissance journalier maximum pour chaque population se situe aux alentours de 0,2 à 0,29  $j^{-1}$  mais atteint 0,34  $j^{-1}$  pour la population nourrie à la plus faible ration journalière. Le minimum positif se situe aux alentours de 0,05  $j^{-1}$ .

### 2.2.3 Effets de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez *Chydorus sphaericus* élevé en groupe à 20°C

Au cours de cette expérience, nous avons suivi la dynamique de la population aux deux rations journalières les plus élevées (A et B) (Figure 12). De nouveau, nous avons débuté l'expérience avec 5 individus dans chaque condition. Cette expérience n'a pu être reproduite, pour les mêmes raisons que celles évoquées ci-dessus.

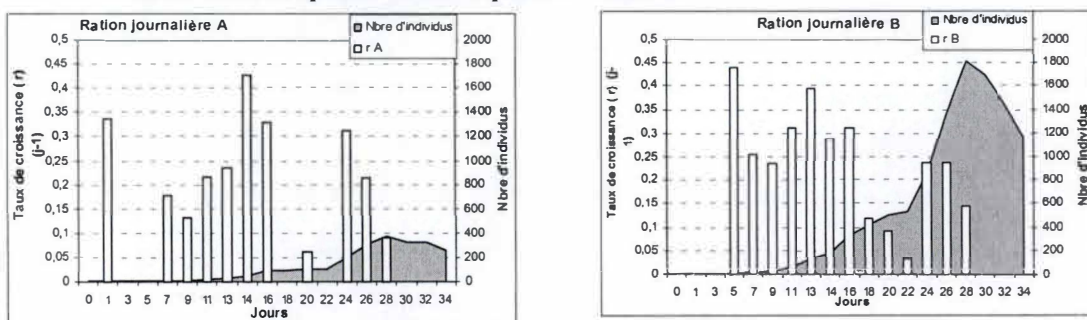


Figure 12 : Variations des effectifs (aires) et du taux du croissance (histogrammes) de populations de *Chydorus sphaericus* élevées en groupe (5 individus au départ) aux deux rations les plus élevées.



La figure 12 nous permet d'observer qu'à la ration journalière la plus faible (B), la population a grandi assez rapidement. Les deux populations ont atteint leur pic au bout de 4 semaines. Le taux de croissance maximum est le même pour les différentes rations journalières, mais pour la plus faible, il dépassait la plupart du temps  $0,2 \text{ j}^{-1}$ . Le plus faible taux de croissance se situe aux alentours de  $0,05 \text{ j}^{-1}$ .

#### 2.2.4 Effets de la disponibilité en nourriture sur la dynamique de population chez *Alona quadrangularis* élevés en groupe à $20^\circ\text{C}$

Lors de cette expérience, nous avons réalisé un suivi de population de cette troisième espèce aux deux rations journalières les plus élevées (A et B), de nouveau à partir de 5 individus dans chacune des conditions (Figure 13).

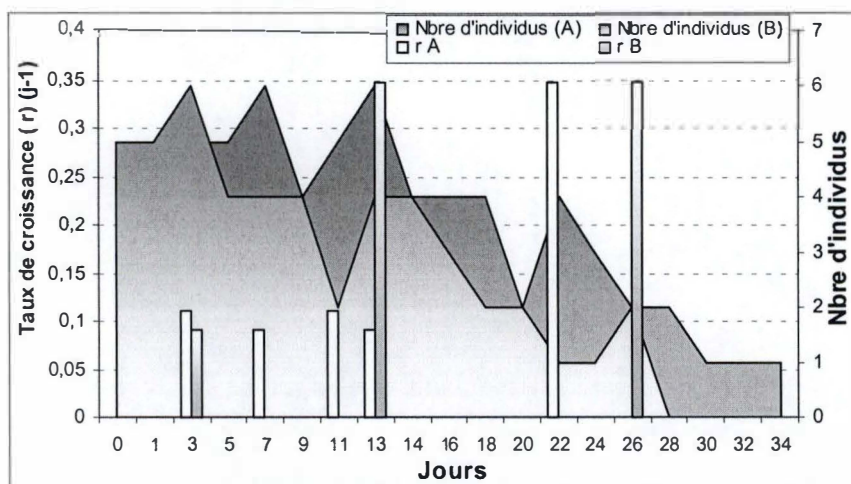


Figure 13 : Variations des effectifs (aires) et du taux de croissance (histogramme) de populations d'*Alona quadrangularis* élevées en groupe (5 individus au départ) aux deux rations les plus élevées.

Nous pouvons remarquer que pour les deux rations testées, les populations fluctuent assez fortement. Elles ne dépassent jamais plus de 6 individus. Les taux de croissance journaliers fluctuent également assez fortement. Ceci est dû au fait qu'une femelle de Chydoridae donne généralement naissance à deux jeunes en même temps (Robertson, 1988). Dès lors, s'il n'y a pas eu d'individu décédé à cette date, la population peut augmenter rapidement ses effectifs par paliers discrets. À la plus faible ration journalière, au bout de 28 jours, tous les individus sont malheureusement décédés.

#### 2.2.5 Commentaire général sur les différentes expériences réalisées

Lors de ces différentes expériences, nous avons utilisé des détritus desséchés constitués de boue venant de la Meuse. Lors d'une expérience complémentaire (Annexe 3), nous avons pu remarquer que *Macrothrix hirsuticornis* était déficient en phosphore (ratio C: P = 478). Ces résultats pourraient indiquer que la nourriture est carencée en phosphore. Ce manque de phosphore n'empêche apparemment pas les populations de croître mais cette croissance est probablement suboptimale.



Lors des suivis individuels ou de population, nous avons pu remarquer que des rations journalières plus importantes ne favorisaient pas nécessairement une croissance plus rapide. En effet, d'autres études ont montré qu'un surplus important de nourriture ne favorisait pas toujours le développement de la population (Nandini & Sarma, 2000a). Ceci est expliqué par le fait que lorsque la nourriture est présente en grandes quantités, les individus passent plus de temps à nettoyer leurs pattes thoraciques et donc, ils "gaspillent" de l'énergie qu'ils pourraient investir dans la reproduction.

En ce qui concerne l'étude individuelle chez *Macrothrix hirsuticornis*, nous pouvons voir qu'aux deux températures, le seuil limite de la ration journalière est différent. A 15°C, à la ration journalière de 42,20 µg C<sub>org</sub>/ind, il y a survie des individus, mais aucune reproduction n'est observée avant le terme de l'expérience, alors qu'à 20°C, à la même ration journalière, les individus ont des portées. Nous avons également réalisé une ration journalière de 21,10 µg C<sub>org</sub>/ind mais au bout de 9 jours tous les individus, que ce soit à 20°C ou 15°C sont décédés. Ceci indique que cette ration journalière est nettement insuffisante pour la survie même de l'espèce.

Lorsque nous comparons les résultats de l'expérience des suivis individuels chez *Macrothrix hirsuticornis* avec les suivis de populations, nous remarquons que les femelles ont tendance à produire plus de jeunes, et à vivre plus longtemps, aux rations journalières D et E alors que lorsqu'elles sont en groupes, la plus grande population est observée à la ration journalière C.

Cette différence pourrait être due à la compétition entre les individus vivant en groupe lorsque la nourriture se fait plus rare. En effet, toute seule, la femelle ne subit pas la concurrence d'individus plus "gourmands".

Ces différents suivis de populations nous permettent de voir comment les individus se comportent face à une certaine quantité de nourriture. L'avantage de ces études en laboratoire est que les prédateurs ont été éliminés. De ce fait, la seule mortalité observée est la mortalité naturelle, ou consécutive à la compétition intraspécifique. Il serait intéressant, à partir des données des expériences préliminaires, d'estimer les dynamiques de populations "réelles", lorsque les organismes sont mis en présence de prédateurs.

Nous pouvons également comparer les suivis de populations avec d'autres expériences pour lesquelles les données en rations journalières et le taux de croissance sont disponibles. C'est le cas par exemple pour le travail de Bec (2003) qui a étudié un Daphniidé benthophile, *Simocephalus vetulus*, nourri à partir de matière organique particulière provenant de la zone littorale du lac d'Annecy, et d'une étude menée au Mexique sur *Chydorus sphaericus* et *Macrothrix triserialis* nourris à partir de détritus résultant d'eau filtrée d'un petit étang de Mexico City (Enriquez Garcia *et al.*, 2003) (Tableau 5).

Espèces	Durée de l'expérience (jours)	Ration journalière (µg C/ind.)	Taux de croissance journalier moyen (j <sup>-1</sup> )	référence
<i>Simocephalus vetulus</i>	10	30	0,009	Bec(2003)
<i>Macrothrix triserialis</i>	50	1,875	0,11	Enriquez Garcia (2003)
<i>Chydorus sphaericus</i>	30	1,875	0,18	
<i>Macrothrix hirsuticornis</i>	29	126,61 µgC <sub>org</sub> /ind	0,08 (0,03 - 0,27)	Cette étude
<i>Chydorus sphaericus</i>	34	168,81 µgC <sub>org</sub> /ind	0,159 (0,07 - 0,43)	

Tableau 5 : Comparaison des résultats de différentes études réalisées dans des conditions expérimentales proches de celles utilisées dans le présent travail.

Nous pouvons voir que les rations journalières auxquelles nos populations grandissaient le mieux étaient largement supérieures à celles utilisées par les autres auteurs. Etant donné que la durée des expériences de Bec (2003) était courte, il se peut qu'il aurait mesuré un taux de croissance plus élevé sur une plus longue période. Nous pouvons remarquer que pour une ration journalière 160 fois supérieure à celle de l'étude d'Enriquez Garcia *et al.* (2003), nous arrivons à un taux de croissance pour *Chydorus sphaericus* assez proche.

Le fait que nos rations journalières soient sensiblement supérieures à celles utilisées par d'autres études, peut laisser suggérer que la qualité nutritionnelle de notre source de nourriture n'est pas excellente. Il convient de rappeler que nos organismes apparaissent, au terme de l'expérience, carencés en phosphore. Toutefois, la nourriture administrée reflète au mieux celle qui est disponible pour les Cladocères benthiques de la Meuse dans leur environnement. Il convient de préciser que lors de nos expériences, nous avons privilégié un type de nourriture mais il se peut que dans la Meuse, les Cladocères puissent rechercher d'autres sources de nourriture plus riches en Phosphore telles que le plancton sédimenté ou le périphyton. Notre souci était d'estimer la croissance dans des conditions aussi proches que possible des conditions *in situ*. Pour évaluer le taux de croissance maximal des différentes espèces, de nouvelles expériences avec d'autres sources de nourritures présentant une meilleure qualité nutritionnelle pourraient être réalisées, mais dans ce cas, nous nous éloignerions des conditions de vie observables en milieu naturel.

### 2.3 Autres tentatives d'élevages

Deux autres espèces ont été élevées en laboratoire : *Alona rectangulara* et *Disparalona rostrata*. Ces deux espèces n'ont toutefois jamais pu s'acclimater aux conditions expérimentales et ont rapidement décliné en culture. Lors du suivi de populations, la quantité de nourriture était inconstante et, de nouveau, la population n'était constituée que de femelles. Nous présentons ces quelques résultats à titre informatif.

#### 2.3.1 *Alona rectangulara*

La population d'*Alona rectangulara* a été obtenue à partir d'un individu récolté dans le plancton à Tailfer le 14 avril. La figure 14 nous montre que la population a évolué lentement jusqu'à un pic au bout de 30 jours, avant de décliner. Le taux de croissance journalier maximal a été obtenu le 12<sup>ème</sup> jour et atteignait  $0,27 \text{ j}^{-1}$ .

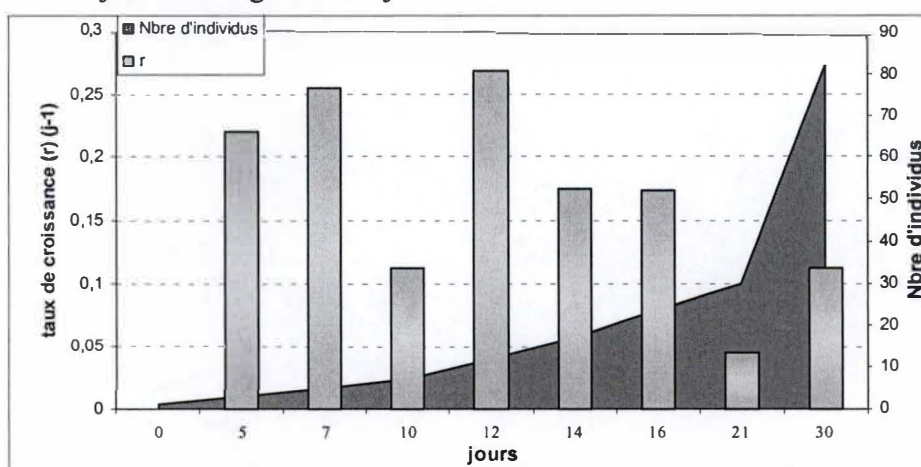


Figure 14 : Variations des effectifs (aires) et du taux de croissance (histogramme) d'une population d'*Alona rectangulara*.



### 2.3.2 *Disparalona rostrata*

La population de *Disparalona rostrata* a été obtenue à partir d'un individu récolté dans les sédiments le 27 mai. La population a grandi assez rapidement, atteignant un pic de 21 individus au bout de 17 jours ; mais pour des raisons inconnues, elle s'est par la suite éteinte progressivement. La population a atteint un taux de croissance journalier maximal de 0,5 j<sup>-1</sup> (Figure 15).

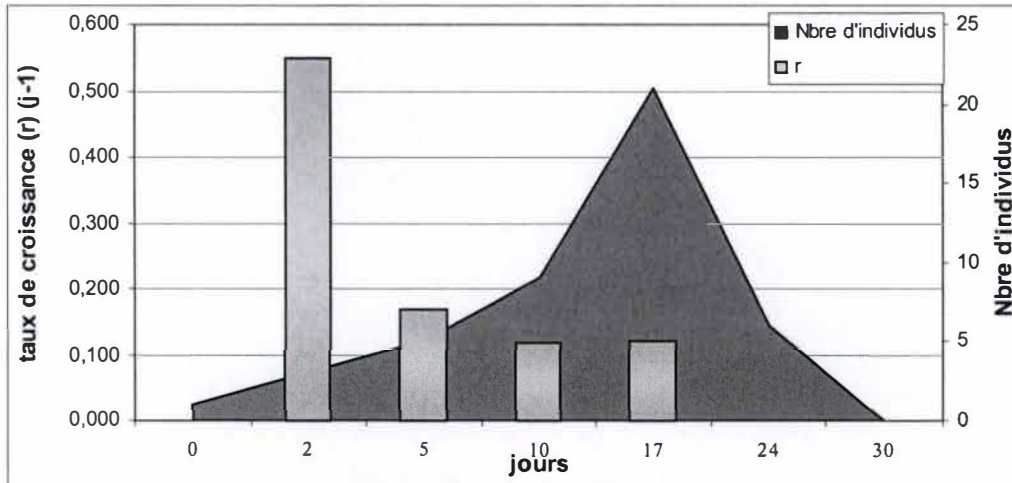


Figure 15 : Variation des effectifs (aire) et du taux de croissance (histogramme) d'une population de *Disparalona rostrata*.

En ce qui concerne les suivis de populations d'*Alona rectangula* et de *Disparalona rostrata*, il serait intéressant de réitérer l'expérience avec cette fois d'autres sources de nourriture. L'étude d'Enriquez Garcia (2003) a montré qu'*Alona rectangula* grandissait plus facilement dans des cultures de *Chlorella vulgaris* vivantes ou mortes.

En effet, ces deux espèces sont retrouvées sur le site de Champalle où les prélèvements de sédiments ont eu lieu, mais il se peut qu'elles utilisent d'autres sources de nourriture. Par ailleurs, la littérature nous apprend que *Disparalona rostrata* se nourrit par filtration des particules en suspension à la surface des sédiments (Amoros, 1984). Il serait intéressant de pouvoir tenter à nouveau de les maintenir en conditions de laboratoire, car cette espèce est présente *in situ*, et est souvent porteuse d'œufs. Une nourriture non stérile lui conviendrait peut être mieux, mais il faudrait optimiser les conditions de renouvellement pour éviter au maximum la prédation. Par ailleurs, une filtration plus fine lui permettrait peut être de trouver plus facilement sa nourriture. Malheureusement, cette espèce n'a jamais été utilisée dans des expériences de laboratoire, dès lors, nous ne pourrions pas nous baser sur une expérience déjà réalisée.



**CONCLUSIONS**

**ET**

**PERSPECTIVES**

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Au cours de notre travail, nous avons parallèlement réalisé des études dans le milieu naturel et en laboratoire.

## 1 Etudes sur la Meuse

Les études dans le milieu naturel nous permettent de conclure que les Cladocères benthiques sont présents dans la Meuse et pas seulement comme des crustacés dérivants mais comme une communauté à part entière qui y vit et s'y reproduit. Cela a pu être démontré par l'étude dans les sédiments, où des femelles avec des œufs ont été trouvées de manière régulière. Une diversité importante est présente parmi les Cladocères benthiques mais d'une année à l'autre, cette diversité varie. Par rapport à d'autres fleuves européens tels que la Tamise (Robertson, 1990), la Loire (Pourriot *et al.*, 1982) ou le Danube (Gulyás, 1994a), la diversité trouvée en Meuse est comparable. Par contre, les densités rencontrées dans la Meuse certaines années sont inférieures à celles rencontrées dans la Tamise ou dans la Loire.

Il serait intéressant d'approfondir les différentes études, que se soit sur les populations dérivantes ou sur celles habitant dans les sédiments. L'étude de la dérive est intéressante pour nous montrer les espèces présentes dans la Meuse et pouvant être rencontrées dans les sédiments. Il serait utile, afin d'améliorer les données sur la diversité des Cladocères, d'essayer une autre technique d'échantillonnage dans le courant en complément de la trappe, telle que le filet à plancton.

L'étude dans les sédiments pourrait être approfondie par une sélection de différents sites en Haute Meuse belge et en Meuse française, ayant des faciès différents et donc susceptibles d'accueillir d'autres populations ou espèces. Nous avons remarqué que le site choisi n'abritait qu'une fraction de la diversité des Cladocères benthiques trouvés dans le plancton. Dès lors, il serait intéressant de prospecter d'autres endroits, éventuellement plus en amont, où ils sont susceptibles de vivre. Une étude à partir de carottes de sédiments permettrait de capturer les espèces hyporhéiques qui peuvent ne pas se trouver à la surface des sédiments lors de l'échantillonnage de surface. On pourrait également se baser par exemple sur la technique utilisée par l'équipe de Robertson (1990) sur la Tamise dans des zones de sédiment fin. Par ailleurs, des milieux artificiels pourraient également être placés et permettraient un échantillonnage plus aisé.

Il serait également intéressant de prospecter les principaux affluents de la Meuse en aval de Namur, pour y recenser également les espèces de Cladocères présents. Nous pourrions comparer ces résultats avec ceux obtenus dans le plancton et dans les sédiments de la Meuse, et voir si certaines espèces sont plus inféodées à la Meuse ou à d'autres cours d'eaux tributaires. Ce même raisonnement pourrait se faire pour les zones littorales des milieux connexes au fleuve, tels que les noues.

Notre étude s'est déroulée en amont de Namur, où les eaux ne sont pas soumises à une pollution importante due aux rejets domestiques. Des prélèvements de sédiments en aval de Namur permettraient de voir si des communautés sont toujours présentes et si ce sont les mêmes. Si cela se révèle exacte, cette étude pourrait également se dérouler sur du plus long terme pour voir si la mise en service des stations d'épurations, et donc l'amélioration supposée de la qualité de l'eau et des sédiments, a un effet plus ou moins rapide et mesurable sur les populations présentes.

## 2 Etudes en laboratoire

Les études en laboratoire nous ont permis d'étudier plus facilement la dynamique de population des Cladocères benthiques. En effet, étant donné que les individus récoltés en Meuse étaient peu nombreux, il était assez difficile d'obtenir un suivi de leur dynamique de population. Les différentes études en laboratoires, où les populations étaient nourries à partir de détritiques desséchés provenant de la Meuse, nous ont permis d'obtenir des données sur la dynamique de population de différentes espèces dans des conditions contrôlées.

Nous avons pu remarquer que deux espèces telles que *Macrothrix hirsuticornis* (représentant de la famille des Macrothricidae) et *Chydorus sphaericus* (représentant de la famille des Chydoridae) se révèlent des espèces faciles à élever en laboratoire, car peu exigeantes. Par contre, *Alona quadrangularis*, *Alona rectangula* et *Disparalona rostrata* sont apparemment plus difficiles à maintenir en conditions de laboratoire.

Lors des différentes expériences réalisées, les taux de croissances mesurés atteignaient pour *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus* respectivement 0,08 et 0,159 j<sup>-1</sup>. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par Enriquez Garcia (2003) pour *Macrothrix triserialis* (0,11 j<sup>-1</sup>) et *Chydorus sphaericus* (0,18 j<sup>-1</sup>). Ces taux de croissance nous montrent que les espèces élevées, avec une nourriture proche de celle rencontrée dans leur milieu sont capables de croître et de se reproduire.

Par ailleurs, lorsque les eaux sont plus froides (15°C), nous avons pu observer que *Macrothrix hirsuticornis* se reproduit moins régulièrement et a généralement une durée de vie écourtée. Nous avons également remarqué que ce n'est pas lorsque la nourriture est plus abondante, que les individus vont être nécessairement en meilleure santé et ceci sur une plus longue période.

Nous avons par ailleurs remarqué que la boue desséchée, nourriture administrée principalement, était fort probablement carencée en phosphore, mais pourtant exploitée par les populations de *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus*. Il serait intéressant de réitérer l'expérience avec une source alternative de phosphore susceptible de compenser cette carence, pour permettre une meilleure croissance des différentes populations. Nous pourrions, par exemple enrichir la nourriture par des apports d'algues plus ou moins riches en phosphore. Si nous voulons rester le plus proche possible des conditions naturelles, nous pourrions donner des compléments de diatomées et de cryptophycées présentant de très bonnes qualités nutritionnelles, et abondantes dans le plancton et le périphyton de la Meuse. Les qualités nutritionnelles peuvent être facilement estimées par la présence de certains acides gras (Bec, 2003).

Il serait intéressant par ailleurs, de trouver des conditions convenant à d'autres espèces que celles qui sont bien acclimatées actuellement pour pouvoir suivre d'autres populations.



Nous pouvons ainsi remarquer que lors de prélèvements dans les sédiments, *Disparalona rostrata* était la seule espèce pour laquelle, à chaque échantillonnage, des femelles avec et sans œufs étaient présentes. Cela pouvait nous permettre de supposer qu'une population stable vivait à cet endroit. Pourtant, lors des expériences réalisées en laboratoire, nous avons pu constater que cette espèce n'acceptait pas sur une longue période la nourriture prélevée sur le site d'échantillonnage. Ceci peut nous permettre de penser qu'elle peut se nourrir à partir de cette source de nourriture mais qu'apparemment, dans son environnement naturel, elle trouve d'autres sources de nourriture. Il est connu qu'elle se nourrit de particules à la surface des sédiments (Amoros, 1984) qui peuvent être par exemple constituées par des biofilms. Lors des expériences en laboratoire, il est fort possible que la stérilisation ou la dessiccation aient détruit ce biofilm, le rendant inutilisable. Il serait donc utile de déterminer la source de nourriture adéquate pour cette espèce, et de pouvoir la suivre en laboratoire pour obtenir une information intéressante sur sa dynamique de population.

Par ailleurs, le manque de temps et d'individus en réserve ne nous a pas permis de réaliser toutes les expériences en triplicats. Il est donc nécessaire de compléter les résultats obtenus par de nouvelles expériences.

Lors de cette étude, au début des différentes expériences, les juvéniles avaient moins de 24 h, mais nous ne pouvions pas déterminer de quelle génération ils provenaient (première portée d'une jeune femelle ou deuxième ponte d'une femelle âgée). Il serait bénéfique de réitérer les différentes expériences à partir d'individus synchronisés, appartenant strictement à la même génération. Par ailleurs, en gardant la même ration, nous pourrions observer si des paramètres tels que la durée de vie ou le nombre de couvées diffèrent ou non.

De plus, il conviendrait d'étudier leur rôle plus ou moins important dans la chaîne trophique. En effet, se nourrissant de détritus, ils jouent un rôle pouvant être important dans la chaîne trophique (Robertson, 1990). De plus, ils peuvent absorber des composants toxiques qui peuvent se transmettre d'un niveau trophique à l'autre. Etant donné que certaines espèces sont peu exigeantes en conditions de laboratoire, nous pourrions également étudier comment ces espèces répondent à la présence de contaminants.

Lors de cette étude, nous avons remarqué qu'une certaine diversité taxinomique existait dans la Meuse. Nous en avons retrouvé une partie dans les habitats benthiques, mais certaines espèces n'ont été retrouvées que dans le plancton. Ceci nous montre qu'en prospectant sur une plus longue distance, et sur des sites ayant des faciès différents, principalement en amont de Namur et dans la Meuse française, nous pourrions observer une diversité plus importante. Cette étude de la diversité taxinomique pourrait se doubler d'un examen de la diversité génétique au niveau des populations. Cette diversité peut être plus importante en amont de la Meuse belge, et s'éroder progressivement vers l'aval vu l'appauvrissement de la diversité des habitats en Meuse belge et la baisse progressive de la qualité des eaux. Pour cela, nous pourrions prélever des échantillons en différents endroits de la Meuse, dans le courant et dans les sédiments, et élever les individus en laboratoire pour obtenir des clones. Nous pourrions par la suite, par des marqueurs enzymatiques ou nucléaires évaluer comment évolue la diversité génétique au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers l'aval.

Nous pourrions tout d'abord réaliser ces expériences à partir des souches stables de *Macrothrix hirsuticornis* et *Chydorus sphaericus* et par la suite, diversifier cette approche avec d'autres espèces, pour autant que celles-ci soient simples à maintenir en conditions de laboratoire.

# BIBLIOGRAPHIE

# BIBLIOGRAPHIE

- Amoros, C. (1984) Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises : Crustacés Cladocères. *Bulletin mensuel de la société Linnéenne de Lyon* 5.
- Amoros, C. (1996) Branchiopodes II. Ordres des Cténopodes, Anomopodes, Onychopodes et Haplopodes. In *Traité de zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie. Tome VII Fasc. 2, Crustacés* (ed. P.-P. Grassé), 353-383. Masson, Paris.
- Angelier, E. (2000a) IV. Le courant et les organismes benthiques : l'instabilité chronique de l'horizon superficiel du substrat. In *Ecologie des eaux courantes* (ed. Tec&Doc), 27-36. Paris.
- Angelier, E. (2000b) V. Le milieu hyporhéique : la pérennité du substrat. In *Ecologie des eaux courantes* (ed. Tec&doc), 37-45. Paris.
- Bec, A. (2003) Flux de matière dans le réseau trophique planctonique du lac d'Annecy : approche expérimentale et *in situ* par les acides gras marqueurs et leurs rapports isotopiques ( $\delta^{13}\text{C}$ ). Laboratoire de Biologie des Protistes. Université de Savoie, 216 p.
- Beklioglu, M. & Jeppesen, E. (1999) Behavioural response of plant-associated *Eurycerus Lamellatus* (O.F. Müller) to different food sources and fish cues. *Aquatic Ecology* 33, 167-173.
- Blanchard, G. (1997) Propositions de réimplantation de végétations rivulaires en Meuse moyenne supérieure. Mémoire de fin d'études, URBO. Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, 90 p.
- Bottrell, H. H. (1975) Generation time, length of life, instar duration and frequency of moulting, and their relationship to temperature in eight species of Cladocera from the River Thames. *Oecologia* 19, 129-140.
- Brown, A. V., Limbeck, R. L. & Schram, M. D. (1989) Trophic importance of zooplankton in streams with alluvial riffle and pool geomorphometry. *Arch. Hydrobiol.* 114, 349-367.
- Chengalath, R. (1987) The distribution of Chydorid Cladocera in Canada. *Hydrobiologia* 145, 151-157.
- de Eyto, E. & Irvine, K. (2001) The response of three chydorid species to temperature, pH and food. *Hydrobiologia* 459, 165-172.
- de Eyto, E., Irvine, K. & Free, G. (2002) The use of members of the family Chydoridae (Anomopoda, Branchiopoda) as an indicator of lake ecological quality in Ireland. *Biology and Environment : proceedings of the Royal Irish Academy* 102B, 81-91.
- Dole-Olivier, M. J., Galassi, D. M. P., Marmonier, P. & Creuzé des Châteliers, M. (2000) The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology* 44, 63-91.
- Dumont, H. J. (1995) The evolution of groundwater Cladocera. *Hydrobiologia* 307, 69-74.



- Dumont, H. J. & Silva-Briano, M. (1997) Sensory and glandular equipment of the trunk limbs of the Chydoridae and Macrothricidae (Crustacea : Anomopoda). *Hydrobiologia* **360**, 33-46.
- Enriquez Garcia, C., Nandini, S. & Sarma, S. S. S. (2003) Food type effects on the population growth patterns of littoral Rotifers and Cladocerans. *Acta hydrochim. hydrobiol.* **31**, 120-133.
- Frey, D. G. (1987) The taxonomy and biogeography of the Cladocera. *Hydrobiologia* **145**, 5-17.
- Fryer, G. (1996) Diapause, a potent force in the evolution of freshwater crustaceans. *Hydrobiologia* **320**, 1-14.
- Gulyás, P. (1994a) Studies on the Rotatorian and Crustacean plankton in the Hungarian section of the Danube between 1848.4 and 1659.0 riv. km. *Limnologie aktuell* **2**, 49-61.
- Guntzel, A. M., Matsumura-Tundisi, T. & Rocha, O. (2003) Life cycle of *Macrothrix flabelligera* Smirnov, 1992 (Cladocera, Macrothricidae), recently reported in the Neotropical region. *Hydrobiologia* **490**, 87-92.
- José De Paggi, S. (1981) Variaciones temporales y distribucion horizontal del zooplankton en algunos cauces secundarios del rio Parana. *Studies on Neotropical Fauna and environment* **16**, 185-199.
- José De Paggi, S. B. (1984) Estudios limnologicos en una seccion transversal del tramo medio del rio Parana. *Revista de la Asociacion de Ciencias Naturales del Litoral* **15**, 135-155.
- Lampert, W. & Sommer, U. (1997) *Limnoecology : The Ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, 382 p.
- Leoni, B., Cotta-Ramusino, M. & Margaritora, F. G. (1999) Seasonal succession of Cladocerans in a ricefield in Italy. *Hydrobiologia* **391**, 241-248.
- Lynch. (1980) The evolution of cladoceran life histories. *The quarterly review of biology* **55**, 23-42.
- Maitland, P. S. (1990) Field studies : sampling in freshwaters. In *Biology of Fresh Waters* (ed. Blackie), 123-148. New York.
- Monakov, A. V. (1969) The zooplankton and the zoobenthos of the White Nile and adjoining waters in the Republic of the Sudan. *Hydrobiologia* **33**, 161-185.
- Muro-Cruz, G., Nandini, S. & Sarma, S. S. S. (2002) Comparative life table demography and population growth of *Alona rectangula* and *Macrothrix triserialis* (Cladocera : Crustacea) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *Journal of Freshwater Ecology* **17**, 1-11.
- Nandini, S. & Sarma, S. S. S. (2000a) Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia* **435**, 117-126.

- Nandini, S., Muro-Cruz, G. & Sarma, S. S. S. (2002b) Competition between littoral Cladocerans *Macrothrix triserialis* and *Alona rectangula* (Cladocera) in relation to algal food level and inoculation density. *Acta hydrochim. hydrobiol.* **30**, 1-8.
- Nandini, S. & Sarma, S. S. S. (2003) Population growth of some genera of Cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia* **491**, 211-219.
- Olsen, D. A. & Townsend, C. R. (2003) Hyporheic community composition in a gravel-bed stream: influence of vertical hydrological exchange, sediment structure and physicochemistry. *Freshwater Biology* **48**, 1363-1378.
- Pourriot, R., Benest, P., Champ, P. & Rougier, C. (1982) Influence de quelques facteurs du milieu sur la composition et la dynamique saisonnière du zooplancton de la Loire. *Acta Oecologica Oecologia Generalis* **3**, 353-371.
- Ramcharan, C. W. (2004) Impacts on zooplankton of fish compared to invertebrate planktivores in ASLO 2004 Summer meeting, abstract, (Savannah, Georgia USA)
- Rey, J. & Saint-Jean, L. (1980) Branchiopodes (Cladocères) chap. 11. In *Flore et Faune aquatique de l'Afrique Sahélo-soudanienne* (ed. ORSTOM), 307-332. Paris.
- Richardson, W. B. (1991) Seasonal dynamics, benthic habitat use, and drift of zooplankton in a small stream in a southern Oklahoma, U.S.A. *Can. J. Zool.* **69**, 748-756.
- Richardson, W. B. (1992) Microcrustacea in flowing water : experimental analysis of washout times and a field test. *Freshwater Biology* **28**, 217-230.
- Robertson, A. L. (1988) Life histories of some species of Chydoridae (Cladocera : Crustacea). *Freshwater Biology* **20**, 75-84.
- Robertson, A. L. (1990) The population dynamics of Chydoridae and Macrothricidae (Cladocera : Crustacea) from the River Thames, U.K. *Freshwater Biology* **24**, 375-389.
- Robertson, A. L., Lancaster, J. & Hildrew, A. G. (1995a) Stream hydraulics and the distribution of microcrustacea : a role for refugia? *Freshwater Biology* **33**, 469-484.
- Robertson, A. L. (1995b) Secondary production of a community of benthic Chydoridae (Cladocera : Crustacea) in a large river, UK. *Arch. Hydrobiol.* **134**, 425-440.
- Robertson, A. L. (2000) Lotic meiofaunal community dynamics: colonisation, resilience and persistence in a spatially and temporally heterogeneous environment. *Freshwater Biology* **44**, 135-147.
- Rundle, S. D. & Ramsay, P. M. (1997) Microcrustacean communities in streams from two physiographically contrasting regions of Britain. *Journal of Biogeography* **24**, 101-111.
- Sacherova, V. & Hebert, P. D. N. (2003) The evolutionary history of the Chydoridae (Crustacea : Cladocera). *Biological Journal of the Linnean Society* **79**, 629-643.

- Sandlund, O. T. (1982) The drift of zooplankton and microzoobenthos in the river Strandaelva, Western Norway. *Hydrobiologia* **94**, 33-48.
- Santos-Wisniewski, M. J., Rocha, O., Guntzel, A. M. & Matsumura-Tundisi, T. (2002) Cladocera Chydoridae of high altitude water bodies (Serra da Mantiqueira), in Brazil. *Braz. J. Biol.* **62**, 681-687.
- Sarma, S. S. S., Nandini, S. & Gulati, R. D. (2002) Cost of reproduction in selected species of zooplankton (Rotifers and Cladocerans). *Hydrobiologia* **481**, 89-99.
- Schmid-Araya, J. M. & Schmid, P. E. (2000) Trophic relationships: integrating meiofauna into a realistic benthic food web. *Freshwater Biology* **44**, 149-163.
- Schmidt, C. M. (1994) Distribution in space and time of Cladocera (Crustacea) in the alluvial sediments of the river Rhône (France). *Hydrobiologia* **291**, 131-140.
- Shiozawa, D. K. (1986) The seasonal community structure and drift of microcrustaceans in Valley Creek, Minnesota. *Can. J. Zool.* **64**, 1655-1664.
- Shiozawa, D. K. (1991) Microcrustacea from the benthos of nine Minnesota streams. *Journal of the North american benthological society* **10**, 286-299.
- Shumate, B. C., Schelske, C. L., Crisman, T. L. & Kenney, W. F. (2002) Response of the cladoceran community to trophic state change in Lake Apopka, Florida. *Journal of Paleolimnology* **27**, 71-77.
- Swan, C. M. & Palmer, M. A. (2000) What drives small-scale spatial patterns in lotic meiofauna communities? *Freshwater Biology* **44**, 109-121.
- Viroux, L. (1997) Zooplankton development in two large lowland rivers, the Moselle (France) and the Meuse (Belgium), in 1993. *Journal of plankton research* **19**, 1743-1762.
- Viroux, L. (1999) Zooplankton distribution in flowing water and its implications for sampling : case studies in the River Meuse (Belgium) and the River Moselle (France, Luxembourg). *Journal of plankton research* **21**, 1231-1248.
- Viroux, L. (2000) Dynamique du métazooplancton en milieu fluvial. Thèse de doctorat en Sciences, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, 309 p.
- Viroux, L. (2002) Seasonal and longitudinal aspects of microcrustacean (Cladocera, Copepoda) dynamics in a lowland river. *Journal of plankton research* **24**, 281-292.
- Vranovsky, M. (1995) The effect of current velocity upon the biomass of zooplankton in the River Danube side arms. *Biologia, Bratislava* **50**, 461-464.